

LIBRARY

MAR - 6 1995

National Marine Fisheries Service
2570 Dole Street
Honolulu, Hawaii

海洋開発及地球科学技術調査研究促進費

地球科学技術特定調査研究

アジアモンスーン機構に関する研究

JAPANESE EXPERIMENT ON ASIAN MONSOON

(JEXAM)

(平成元年～平成10年)

(F Y 1989～F Y 1998)

平成4年度 成果報告書

ANNUAL REPORT

(APRIL 1992～MARCH 1993)

平成6年3月

March 1994

科学技術庁研究開発局

Research and Development Bureau

Science and Technology Agency

Japan

は じ め に

大規模な季節変動として知られているアジアモンスーンは、インド洋・東南アジア周辺の海洋とチベット・ヒマラヤを始めとしたアジア大陸の地表面が、大気を媒体として熱・水蒸気等の交換により、相互に影響を及ぼし合っている現象です。その活動の年々変動は、東南アジア地域や、日本を始めとした周辺地域の気候のみならず、大気大循環を介して世界の気候に大きな影響を与えています。また最近、アジアモンスーンの活動の異常は西部熱帯太平洋域の大気・海洋変動を引起こし、これが太平洋規模で発生するエル・ニーニョ／南方振動の引き金になっている可能性があるといわれ、この点からも注目されています。しかし、これらの地域・海域は、対象域の広大さや観測環境の厳しさ等から観測体制が整備されておらず、気象・海象・陸象の基本的な要素に係るデータの収集が必ずしも十分に行われていませんでした。

このため科学技術庁では、海洋開発及地球科学技術調査研究促進費により、「アジアモンスーン機構に関する研究」に平成元年度より開始しました。

平成5年1月には、「『アジアモンスーン機構に関する研究』プロジェクトに関する日本国科学技術庁と中華人民共和国国家気象局との間の実施取極」が結ばれました。中華人民共和国との間の共同研究体制も固まり、今後さらに多くの成果が得られることとします。

本報告書は、平成4年度に行った研究の成果を取りまとめたものです。今回得られた成果の概略は以下の通りです。

(1) 大気を媒体とした海陸相互作用及び長周期変動に関する観測・解析研究

- ・インド洋における公庁船・商船・漁船・漂流ブイを用いた海洋・海上気象観測が継続され、その解析が進んだ。観測資料は、データベースとして整備された。
- ・沖縄宮古島で、ドップラーレーダー・オメガゾンデ等を用いて、梅雨期の大規模雲域と台風の雲域を観測・解析を行った。
- ・衛星観測データより、広域積雪分布の検出アルゴリズムの開発と、エベレスト周辺の氷河の長期変動の解析を行った。
- ・中国における水文観測資料をデータベース化し、降水分布の年々変動について解析を行った。

(2) 数値モデルによる実験研究

- ・広域水収支モデルの開発のために、蒸発量の推定、衛星データを用いた月平均気温の推定、代表流域における広域水収支モデルの検証・改良を行った。
- ・海陸分布を単純化した低分解能モデルによる実験を行い、亜熱帯高気圧循環の維持機構を解析した。
- ・20年間の海面水温を境界条件として与えた大循環モデルの実験を行い、その年々変動の機構について解析した。

ここで得られた成果が早ばつや長雨といった異常気象発現の予測技術、ひいては世界的規模の気候変動を予測する技術の発展に寄与することを期待しています。

最後になりましたが、本研究に携わられた関係各位の御協力に深く感謝いたします。

平成6年3月

LIBRARY

科学技術庁研究開発局長
石 井 敏 弘

MAR - 6 1995

National Marine Fisheries Service
2570 Dole Street
Honolulu, Hawaii



Digitized by the Internet Archive
in 2025

目 次

Contents

I. 研究計画の概要

Outline of the Study Plan

1. 研究の趣旨	3
General Introduction	
2. 研究の概要	3
Outline of the Study	
3. 研究実施体制	8
Research Items and Institutes	
4. 研究検討委員会	10
Research Steering Committee	

II. 研究成果報告

Result of the Study

1. 大気を媒体とした海陸相互作用及び長周期変動に関する観測・解析研究	
Study on Air-Sea-Land Interactions and their Long Term Variations	
(1) 海洋に関する観測研究	
Observational Study on the Indian Ocean	
① 表層水温に関する観測研究	15
Observation on Sub-Surface Temperature by Voluntary Ship	
② 海流循環に関する観測研究	45
Observation on Oceanic Current with Drifting Buoys	
③ 海洋データの標準化及び海洋データ交換の推進	51
Standardization of Oceanic Data and Promotion of Exchange of	
Oceanic Data and Information	
(2) 大気・陸面に関する観測研究	
Observational Study on Air-Sea-Land Surface Interactions	
① 広域エネルギー収支に関する観測研究	63
Observation on Regional Surface Heat Budget	
② チベット・ヒマラヤにおける水文変動に関する観測研究	81
Observation on Hydrology over the Tibetan Plateau and	
Himalayas	

③ 大規模雲域内における対流雲構造に関する観測研究	83
Observation of Structure of Convective Cloud in the Large-scale Cloud Systems	
(3) 衛星データの解析研究	
Analysis of Satellite data	
① モンスーン循環広域条件及び雪氷変動状況に関する解析研究	97
Analysis on Environmental Conditions and Snow-Ice Cover Changes Affecting to Monsoon Cycle in Asia	
② 大規模大気・海洋変動に関する解析研究	103
Analysis of Large-Scale Atmosphere/Ocean Variations	
③ 地球放射収支に関する解析研究	109
Analysis of Earth Radiation Budget in Relation to Asian Monsoon	
(4) 地域水収支に関する解析研究	117
Analysis of Water Balance for Representative River Basins in Asia	
(5) 大気・海洋・陸面間の相互作用に関する解析研究	
Analysis of Air-Sea-Land Interactions	
① モンスーン降水系の解析	123
Analysis of Precipitation Systems in Asian Monsoon Region	
② モンスーン循環系の総合的解析	133
Comprehensive Analysis of Asian Monsoon Circulation System	
2. 数値モデルによる実験研究	
Theoretical/Experimental Study by Numerical Simulations	
(1) 広域水収支モデルの開発に関する研究	139
Numerical Study on Regional Water Balance Model in Asia	
(2) 季節内変動とアジアモンスーンの関連に関する実験研究	147
Numerical Study concerning Relationship between the Intraseasonal Oscillations in the Tropics and the Asian Monsoon Phenomena	
(3) 大規模モデルによる大気・海洋・陸面間の相互作用に関する実験研究	157
Numerical Study on Air-Sea-Land Interactions in a Monsoon by GCM	
III. 観測・解析研究ディレクトリー	165
Directory of Observation/Analysis Data Set	

I . 研究計画の概要

Outline of the Study

I. 研究計画の概要

1. 研究の趣旨

アジアモンスーンは、インド洋・東南アジア周辺の海洋とチベット・ヒマラヤを始めとしたアジア大陸の地表面が、その熱的特性の相違により大気を媒体とした熱・水蒸気等の交換を通じて、それぞれ相互に影響を及ぼし合う結果、東南アジア・東アジア地域における季節的な現象として発現している。その活動の年次の変動は、東南アジア地域や、日本を始めとした周辺地域の気候の変動に大きな影響を及ぼすばかりでなく、大気大循環変動を介して世界の気候にも大きな影響を与えている。また最近、アジアモンスーンの活動の異常は西部熱帯太平洋域の大気・海洋変動を引き起こし、これが太平洋規模で発生するエル・ニーニョ／南方振動の引き金となっている可能性があるという研究報告もあり、この点からも注目する必要がある。しかしながら、これらの地域・海域は、対象域の広大さや観測環境の厳しさ等から観測体制が整備されておらず、気象・海象・陸象の基本的な要素に係るデータの収集が必ずしも十分に行なわれているとは言えない。

従って、アジアの一員であり、アジアモンスーンの直接的影響を受け、大気・海洋観測の十分なポテンシャルを有する我が国が、世界の気候を形成する複雑なシステムの一つであるアジアモンスーンの機構を解明するため長期的・総合的な研究を実施することが緊要となっている。本研究を実施することにより、我が国を含むアジア地域における早ばつや長雨といった異常気象発現の予測技術のみならず、世界的規模の気候変動を予測する技術の発展に寄与することが期待される。

本研究は、以上の様な状況を踏まえて、

- (1) 大気を媒体とした海陸相互作用及び長周期変動に関する観測的研究
- (2) 数値モデルによる実験的研究

を行なう。

2. 研究の概要

- (1) 大気を媒体とした海陸相互作用及び長周期変動に関する観測・解析的研究

1) 海洋に関する観測的研究

- ・ 東南アジア域及びインド洋を航行する公庁船、商船及び漁船により海洋表層水温の通年観測を行なう。
- ・ インド洋に漂流ブイを放流し、大規模海流循環の通年観測を行なう。
- ・ 上記で取得した海洋データの標準化、データベース化を促進する。またインド洋観測情報交換システムを構築し、取得データを交換する。

2) 大気・陸面に関する観測的研究

- ・商船委託によりインド洋から東南アジア周辺に至る海域での海上気象・高層気象観測及びウインドプロファイラーにより下層大気の観測を行い、大気・海洋間のエネルギー収支を見積もる。
- ・チベット地域における気象状態及び陸面状態の観測を行ない、大気・陸面間のエネルギー収支を見積もる。
- ・海洋・大気間の熱収支に係わる熱帯域大規模対流雲の構造をドップラーレーダー等により3次元的に観測する。

3) 衛星データの解析的研究

- ・極軌道地球観測衛星資料をデータベース化し、広域的な水文変動に係る大気・海洋・陸面状態の解析を行なう。
- ・日本とインドの静止気象衛星資料をデータベース化し、大規模雲域変動等の解析を行なう。
- ・極軌道気象衛星資料をデータベース化し、モンスーン変動が地球放射収支に及ぼす影響を解明する。

4) 地域水収支に関する解析的研究

- ・中国・日本等の代表流域の水文・気象データを収集し、水収支解析を行う。

5) 大気・海洋・陸面間の相互作用に関する解析的研究

- ・①～④で取得されたデータ及び当該地域で定常的に入手できるデータを標準化し総合的に利用する方法を開発する。
- ・上記のデータにもとづき、モンスーン循環系を総合的に解析する。

(2) 数値モデルによる実験的研究

1) 広域水収支モデルの開発に関する研究

- ・チベット、インドから東南アジアに至る地域を中心として、熱エネルギーの輸送に大きく係わる広域水収支を定量的に把握するためのモデルを開発する。

2) 季節内変動とアジアモンスーンの関連に関する実験的研究

- ・熱帯における30～60日周期の季節内変動がアジアモンスーンに及ぼす機構について数値モデルを用いた実験を行なう。

3) 大規模モデルによる大気・海洋・陸面間の相互作用に関する実験的研究

- ・大気・陸面状態の長周期変動に対する海洋変動の影響を解明するため、大気大循環モデルや大気・海洋結合モデルを用いた数値実験を行なう。

I. Outline of the Study Plan

1. General Introduction

Asian Monsoon is caused by the thermal contrast between the Indian Ocean and surrounding oceans, and the land surface of Asian Continent. These two land and ocean areas interact with each other through the exchange of the heat and moisture. Its consequence is observed as a seasonal phenomenon in the regions of Southeast Asia and East Asia, including Japan.

The year-to-year variation of the Asian Monsoon has a significant influence not only on the climate through the global atmospheric circulations. Furthermore, it is recently reported that the anomalous activities of the atmospheric/oceanic variations over the tropical western Pacific which, in turn, trigger the El Nino/Southern Oscillation events over the whole Pacific Ocean.

Through it is recognized that Asian Monsoon plays an important role in the global climate system, its mechanism has not yet been made clear. This is mainly attributable to the fact that the atmospheric and oceanographic data are sparse over those regions due to the technical difficulties in the observations and the insufficiencies of conventional observation network.

Japan, as a member of the Asian countries, is situated under the direct influence of the Asian monsoon and has a capability to conduct the atmospheric and oceanographic observations. Therefore, it is an important role of Japan to carry out the research projects for the study on Asian Monsoon in cooperation with the countries such as China and India.

This project is expected to make a contribution for the improvement of the long-range forecast of the global climate change as well as the forecasting technique of the unusual weather, such as drought and long spell of rain.

Based on the understandings as mentioned above, Science and Technology Agency (STA) of Japan has launched this ten-year research project since April 1989 on following items;

- (1) Study on the air-sea-land interactions and their long-term variations.
- (2) Experiment by the use of numerical models

2. Outline of the Study

(1) Study on Air-Sea-Land Interactions and their Long Term Variations

1) Observational Study on the Indian Ocean

- To observe sub-surface temperature throughout the year by voluntary, official, commercial and fishing ships over the Southeast Asia and the Indian Ocean.
- To observe large-scale oceanic current throughout the year by drifting buoys over the Indian Ocean.
- To standardize and construct a database of the oceanic data and promote a data exchange. To construct an information exchange system concerning to the observation in the Indian Ocean.

2) Observational Study on Air-Sea-Land Surface Interactions

- To promote a maritime meteorological observation by voluntary commercial ships and estimate an energy budget of the atmosphere-ocean interaction.
- To observe weather and land surface conditions over the Tibetan area and estimate an energy budget of the atmosphere-land interaction.
- To observe three-dimensional structures of the tropical convective clouds related to the heat budget of the atmosphere-ocean interaction by wind profiler and Doppler radar.

3) Analysis of Satellite Data

- To construct a database of the polar orbiting earth observation satellites and make an analysis of the atmosphere-ocean-land situations related to the large scale hydrological variations.
- To construct a database of the Japanese and Indian satellites and make an analysis of the large-scale cloudiness changes.
- To construct a database of Earth radiation budget through the polar orbiting meteorological satellites and make an analysis of an effect of the monsoon variation.

4) Analysis of Water Balance for Representative River Basins in Asia
- To collect daily hydro-meteorological data over the Yangtze River basin and make an analysis of the long-term variations.

5) Analysis of Air-Sea-Land Interactions

- To standardize the data obtained by the experimental and routine observations and develop their general utilization.
- To make a comprehensive analysis of the monsoon circulation by the use of the standardized data.

(2) Theoretical/Experimental Study by Numerical Simulations

1) Numerical Study on Regional Water Balance Model in Asia

- To develop numerical models for the investigation of the large-scale hydrological budget over the Tibet, India and Southeast Asia related to the heat transport.

2) Numerical Study concerning Relationship between the Intraseasonal Oscillations in the Tropics and the Asian Monsoon Phenomena

- To perform numerical experiments of the effect of intraseasonal 30-60 day variation on Asian monsoon.

3) Numerical Study on Air-Sea-Land Interactions in a Monsoon by GCM

- To perform numerical experiments by the atmosphere-ocean coupled model for the investigation of the effects of oceanic conditions on the long-term variation of the atmosphere-land condition.

3. 研究実施体制

Research Items and Institutes

研 究 項 目 Research Items	担 当 機 関 Research Institutes
I 大気を媒体とした海陸相互作用及び長周期変動に関する観測・解析研究 Study on Air-Sea-Land Interactions and their Long Term Variations 1. 海洋に関する観測研究 Observational Study on the Indian Ocean (1) 表層水温に関する観測研究 Observation on Sub-Surface Temperature by Voluntary Ship (2) 海流循環に関する観測研究 Observation on Oceanic Current with Drifting Buoys (3) 海洋データの標準化及び海洋データ交換の推進 Standardization of Oceanic Data and Promotion of Exchange of Oceanic Data and Information 2. 大気・陸面に関する観測研究 Observational Study on Air-Sea-Land Surface Interactions (1) 広域エネルギー収支に関する観測研究 Observation on Regional Surface Heat Budget (2) チベット・ヒマラヤにおける水文変動に関する観測研究 Observation on Hydrology over the Tibetan Plateau and Himalayas (3) 大規模雲域内における対流雲構造に関する観測研究 Observation of Structure of Convective Cloud in the Large-scale Cloud Systems	水産庁 遠洋水産研究所 Far Seas Fisheries Research Laboratory, Fisheries Agency 気象庁 海洋気象部 Marine Department, Japan Meteorological Agency(JMA) 海上保安庁 水路部 Hydrographic Department, Maritime Safety Agency(MSA) 海上保安庁 水路部 Hydrographic Department, MSA 気象庁 気象研究所 Meteorological Research Institute(MRI/JMA) 郵政省 通信総合研究所 Communications Research Laboratory(CRL), Ministry of Posts and Telecommunications 科学技術庁 防災科学技術研究所 National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention(NRIESDP), Science and Technology Agency(STA) 気象庁 気象研究所 MRI/JMA 科学技術庁 防災科学技術研究所 NRIESDP/STA

研 究 項 目 Research Items	担 当 機 関 Research Institutes
3. 衛星データの解析研究 Analysis of Satellite data (1) モンスーン循環広域条件及び雪氷変動状況に関する解析研究 Analysis on Environmental Conditions and Snow-Ice Cover Changes Affecting to Monsoon Cycle in Asia (2) 大規模大気・海洋変動に関する解析研究 Analysis of Large-Scale Atmoaphere/Ocean Variations (3) 地球放射収支に関する解析研究 Analysis of Earth Radiation Budget in Relation to Asian Monsoon 4. 地域水収支に関する解析研究 Analysis of Water Balance for Representative River Basins in Asia 5. 大気・海洋・陸面間の相互作用に関する解析研究 Analysis of Air-Sea-Land Interactions (1) モンスーン降水系の解析 Analysis of Precipitation Systems in Asian Monsoon Region (2) モンスーン循環系の総合的解析 Comprehensive Analysis of Asian Monsoon Circulation System II 数値モデルによる実験研究 Theoretical/Experimental Study by Numerical Simulations 1. 広域水収支モデルの開発に関する研究 Numerical Study on Regional Water Balance Model in Asia 2. 季節内変動とアジアモンスーンの関連に関する実験研究 Numertical Study concerning Relationship between the Intraseasonal Oscillations in the Tropics and the Asian Monsoon Phenomena 3. 大規模モデルによる大気・海洋・陸面間の相互作用に関する実験研究 Numerical Study on Air-Sea-Land Interactions in a Monsoon by GCM III 検討委員会の開催等 Research Steering Committee	科学技術庁 防災科学技術研究所 NRIESDP/STA 気象庁 気象研究所 MRI/JMA 気象庁 気象研究所 MRI/JMA 科学技術庁 防災科学技術研究所 NRIESDP/STA 気象庁 気象研究所 MRI/JMA 気象庁 予報部 Forecasting Department/JMA 科学技術庁 防災科学技術研究所 NRIESDP/STA 気象庁 気象研究所 MRI/JMA 気象庁 気象研究所 MRI/JMA 科学技術庁 研究開発局 Research and Development Bureau STA 気象庁 気象研究所 MRI/JMA

4. 研究検討委員会
Research Steering Committee

委員名 (Membership)	所 属 (Affiliation)
委員長 浅井 富雄 Chairman: Prof. Tomio Asai	東京大学海洋研究所長 Ocean Research Institute, University of Tokyo
委員 安藤 正 Member : Mr. Tadashi Andoh	気象庁海洋気象部海洋課調査官 Oceanographical Division, Marine Department, Japan Meteorological Agency
大塚 伸 Mr. Shin Ohtsuka	気象庁気象研究所台風研究部長 Typhoon Research Division, Meteorological Research Institute, Japan Meteorological Agency
幾志 新吉 Dr. Shinkichi Kishi	科学技術庁防災科学技術研究所先端解析技術研究 部長 Advanced Measurement and Analysis Division, National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention, Science and Technology Agency
工藤 達也 Mr. Tatsuya Kudo	気象庁予報部長期予報課予報官 Long Range Forecast Division, Forecast Division, Japan Meteorological Agency
河野 秀雄 Mr. Hideo Kohno	水産庁研究部研究課研究管理官 Research Division, Research Department, Fisheries Agency
小林 俊一 Prof. Shun'ichi Kobayashi	新潟大学積雪地域災害研究センター教授 Research Institute for Hazards in Snowy Areas, Niigata University
住 明正 Prof. Akimasa Sumi	東京大学気候システム研究センター教授 Center for Climate System Research, University of Tokyo
竹内 謙介 Prof. Kensuke Takeuchi	北海道大学低温科学研究所教授 Institute of Low Temperature Science, University of Hokkaido
中村 健治 Dr. Kenji Nakamura	郵政省通信総合研究所関東支所地球環境計測研究室長 Earth Environment Section, Kashima Space Research Center, Communication Research Laboratory, Ministry of Posts and Telecommunications
新田 勅 Dr. Tsuyoshi Nitta	東京大学気候システム研究センター教授 Center for Climate System Research, University of Tokyo
菱田 昌孝 Mr. Masataka Hishida	海上保安庁水路部海洋調査課長 Ocean Surveys Division, Hydrographic Department, Maritime Safety Agency

委員名 (Membership)	所 属 (Affiliation)
水野 恵介 Dr. Keisuke Mizuno 安成 哲三 Prof. Tetsuzo Yasunari 山形 俊男 Prof. Toshio Yamagata 山田 修 Mr. Osamu Yamada	水産庁遠洋水産研究所海洋・南大洋部低緯度域海洋研究室長 Far Seas Fisheries Research Laboratory, Fisheries Agency 筑波大学地球科学系教授 Institute of Geosciences, University of Tsukuba 東京大学理学部地球惑星物理学教室 Faculty of Science, University of Tokyo 海上保安庁水路部海洋情報課長 Director, Japan Oceanographic Data Center, Hydrographic Department, Maritime Safety Agency
和田 智明 Mr. Tomoaki Wada	科学技術庁研究開発局地球科学技術推進室長 Office of Earth Science and Technology, Science and Technology Agency of Japan

II . 研究成果報告

R e s u l t o f t h e S t u d y

1. 大気を媒体とした海陸相互作用及び長周期変動に関する観測・解析研究

Study on Air-Sea-Land Interactions and their Long Term Variation

(1) 海洋に関する観測研究

Observation in the Indian Ocean

① 表層水温に関する観測研究

Observation on Sub-Surface Temperature by Voluntary Ships

水産庁 遠洋水産研究所

水野恵介・渡邊朝生

National Research Institute of Far Seas Fisheries
Fisheries Agency

Keisuke Mizuno and Tomowo Watanabe

(ABSTRACT)

Based upon historical temperature/depth data provided by NODC, annual cycle of upper layer thickness (ULT; represented by 20°C isotherm depth) in the Indian Ocean was investigated. The most remarkable variability is east-west transport of upper layer water in the tropics displaying basin scale east-west ULT anomaly contrast in the tropical area. Upper layer warm water is transported by the equatorial jet (basically by equatorial Kelvin wave dynamics), in the inter-monsoon period (May and November) and a warm pool is generated off Sumatera.

The warm pool is disappeared from the area in a few months after that, but the warm water tends to propagate westward probably by Rossby Wave dynamics. These two wave propagation processes are possibly the main cause of the west-east ULT contrast. On the otherhand, XBT observations crossing the equator off Sumatera were conducted and showed year to year change of the intensity of accumulation of warm water there.

1. 研究目的

(1) 既往資料の解析

アジアモンスーンは、大気を媒介にした海陸相互作用であり、海洋は大気の影響（海上風、降雨／蒸発）を受けて、水温や流れ等の物理量分布が決定される。一方、表面水温分布は海陸の熱のコントラストの片方を決め、大気の運動としてのモンスーンを決定する重要な役割を担っている。このように大気・海洋の変動は各々がお互いに影響し合っている。この認識を基本にしつつも、海洋研究の立場からは、まず海洋の大気、特に風応力に対する応答を明らかにしておく必要がある。モンスーン現象の規模はかなり大きく、インド洋から東アジアを広範にカバーしている。例えば北半球の夏におけるモンスーンの風は南半球のインド洋中緯度帯にあるマスカ

レーン高気圧部から広範囲に赤道を越え、北半球に入るとアフリカ東岸部に集り、ソマリージェットに連なり、ここから南東風としてインドおよびインドシナ方面に広範に吹込んでいる。よって、このような大規模な風系の変化に対する海洋の応答はインド洋全域を視野に入れる必要があり、特に大気との相互作用が行なわれる表層の変動を把握しておくことが必要である。またアジアモンスーンには強い季節性の他に年々の変動も存在し、それは太平洋で発現するエル・ニーニョやラ・ニーニャ現象に、強く関連していることが指摘されている。この研究の目的はこれらの海洋変動を既往資料の解析によって明らかにしていくことである。

これまで既往資料の解析によって、インド洋の表面水温分布の季節変化を明らかにし、経年変動特性については、それがエンソシグナルにやや遅れてインド洋全体に現われることを示してきた。また、海洋内部の構造の季節変化についても予備的な解析を実施してきた。すなわち、インド洋全域を対象に、下層水温の季節変動を既往のレピタスのデータベースによって調べ、ある程度季節変動特性が得られた。しかしながら、このデータベースはすでに緯経度 $2^{\circ} \times 2^{\circ}$ の格子点で長期季節平均が計算されたものであり、データもやや少ないきらいがあり詳細な海洋構造の論議はできなかった。そこで、個々の水深／水温データを収集し、品質管理を行なった後、データベースを作成し、月毎の上層（ 20°C 等温面）の深度分布を緯経度 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ で作成した。これにより、上層における海洋構造の季節的な変化をより詳細に論議する。

(2) 観測網の展開

現在、インド洋における観測は他の大洋に比べて著しく少ない現状にあり、アジアモンスーンの年々の変化やその影響を評価するために必要な海洋変動の把握は極めて不十分である。インド洋の年々の変化はエル・ニーニョの発生等と密接な関係が指摘されているため、それが追跡できる海洋観測網が問題となる。よって、インド洋及び東南アジア海域を広域にカバーする表層水温構造を継続的に観測して、その変化を把握し、長期変動機構を解明することが本研究のもう1つの目的である。これまでインド洋における我が国の長期に亘る恒常的な観測網としては、水産関係の地方公庁船（水産高校実習船）のまぐろ類資源調査時に実施される海洋観測がある。この観測網は上記の資料解析に有用であるが、これを更に充実・強化するとともに、新たにインド洋全域に亘って稼働している日本のまぐろはえなわ漁船やその他の水産関係機関にも委託観測を実施してこの海域の組織的な海洋観測網を強化・拡充をはかった。

2. 研究方法

(1) 既往資料の解析

解析対象海域はインド洋南部を除くほぼ全域をカバーする $40^{\circ}\text{E} \sim 125^{\circ}\text{E}$ ； $30^{\circ}\text{N} \sim 35^{\circ}\text{S}$ とした。用いた資料は遠洋水産研究所で収集

された1966年から1989年までの間のこの海域で水産関係機関により実施されたまぐろ資源調査時の海洋観測資料（BT，各層観測，XBT，DBTによる水温・深度データ）及び，NODCにより作成された水深／水温データである。後者には，前者の資料の大部分が含まれている。これはCD-ROM化されており，1906年から1990年までのデータが含まれる歴史データセットで，JODCを通じて入手したものである。これらを統一したデータ形式とし，所定深度（0，10，20，30，50，75，100，125，150，175，200，250，270，300，400，500，600，800，1000m）の水温データに変換した。重複や異常値の除去処理等の品質管理をほどこして約13万点の水温のデータセットを作成した。

① データの品質管理

データの品質管理は，次の様な手法を用いた。まず第1に，一定の範囲を越えるデータを除去した。ここでは0～35℃の範囲を越えるものは報告の誤りとしてすべて除去した。

第2に，このデータを緯経度5度の区画に分け，各区画で季節毎（1～3月，4～6月，7～9月，10～12月）にデータを振り分けた。各データの組（すなわち各区画の季節毎の組）の鉛直プロファイルを全て一度に表示し，異常と思われるプロファイルを取り除いた。除去されたデータのほとんどは，報告の誤りと思われる大きな水温の逆転と，XBTプローブの着底後（着底後も時間の経過とともにプローブが落下していると認識されてしまう）もデータを取り続けたことに起因する海底付近に見かけの等温層を持つものである。

第3に，異常データ除去後のデータセットを使って，区画，季節，深度毎に平均値と標準偏差を求めた。この平均値と標準偏差に基づき，個々の水温プロファイルで平均値からのずれが標準偏差の3倍を越える水温が所定深度の1ヶ所にでもあれば，この水温プロファイルはデータセットから除去した。この操作を除去されるデータが無くなるまで繰り返した。この場合22回の繰り返し計算を要した。こうして得られたデータセットを更に第2段階で行なったのと同様に個々のプロファイルを目で検査して，異常なデータを判断して除き最終的なデータセットとした。結局，最初のデータセットの9.5%の水温プロファイルが除去され，123，646点の水温プロファイルが得られた（図1）。

② 20℃等温面深度分布の格子点データの作成

上記で得られた各々の水温プロファイルすなわち，所定深度毎の水温値から，水温が20℃となる水深（以下D20と呼ぶ）を直線内挿によって求め，D20のデータセットを作成した。これを更に月別に分け，緯経度1°毎に格子点を配置して，この格子点を中心に緯度方向に短径2°，経度方向に長径5°の楕円の範囲を設定し，この中に入った全測点の平均値をその格子点のデータとした。ただし，観測データが3ヶ以下の場合は欠測として取り扱った。このようにして，月別長期平均D20

分布図を作成した。また、この月別長期平均を全て平均して、長期平均 D 2 0 とし、それからの偏差を月別 D 2 0 偏差図として作成した。2 0 °C を採用したのは、上記の緯経度 5 °C の区画で各季節毎に平均的水温鉛直プロファイル[1)]は、インド洋南部および紅海・ペルシャ湾内および湾口付近を除いて、ほとんどの海域で 2 0 °C が躍層の中心付近に位置し、これは上層の厚さをよく代表すると考えられるからである。

(2) 観測網の展開

昨年度と同様に東部インド洋ではセーシェルを中心に周年行動する、海洋水産資源開発センターの日本丸に依頼して X B T 観測を行ない、西部インド洋では 9 0 °E 線の赤道横断 X B T 観測を公庁船（神海丸；島根水高 11/19~22）に依頼した。また、遠洋水産研究所が実施した南氷洋鯨類調査時にインド洋の X B T 調査も実施した。最近インド洋に向かう船が、南シナ海で海賊の被害がしばしば発生し、公庁船はこの海域を敬遠するようになったため、赤道を横断する 9 0 °E 線の X B T 観測は今年度は 1 回のみ実施された。

3. 研究成果

(1) 既往資料の解析

① D 2 0 の季節変動特性

各月の D 2 0 の長期平均を 1 ヶ月おきに示した（図 2）。インド洋西部の 7 °S を中心として、通年上層の薄い部分が東西に帯状に存在している（南赤道反流トラフ）。この北側の水温前線は南赤道反流に相当する。また、この南赤道反流トラフの南側は資料が十分でなく明瞭ではないが比較的安定的に厚い暖水が分布していると思われ、両者の間の 1 0 °S ~ 1 5 °S 間は比較的幅広い水温前線が存在し、これは南赤道海流に対応している。この南赤道海流トラフには顕著な季節変化が存在している。1 月には 7 0 °E 以西で発達し、最も薄い所で 6 0 m 以下となっているが、3 月ではトラフ全体がその範囲を東に広げ 9 0 °E に達しているが、最も薄い場所でも 9 0 m 程度となり全体には暖水が厚くなっている。5 月に入るとトラフは全体に強化され、上層の最も薄い 7 0 m 以下の海域が広がっている。7 月に入るとやや東に伸びているものの、全体にトラフは弱くなっており、9 月にはその範囲も 8 0 °E 付近にとどまり、さらに弱まっている。しかし、1 1 月には再び強化されている。

スマトラ沖には明瞭に半年周期の変動が見られる。すなわち、1 月から 3 月までは D 2 0 は 1 1 0 m 程度であるが 5 月には急激に増大し、1 4 0 m を越える。その後 9 月にかけて 1 1 0 ~ 1 2 0 m まで減少するが、1 1 月には再び増大し 1 3 0 m を越えるが 1 月には 1 1 0 m と減少する。これは 5 月および 1 1 月に赤道上が西風域に入るためここで赤道表層に強い東向流（赤道ジェット[2)]）が形成され、スマトラ沖には暖水が蓄積されるためである。この暖水が蓄積される 5 月および 1 1 月には、

これに対応して南赤道反流トラフが強化されている（前節参照）。これは、南赤道反流トラフ海域の上層水は取り去られており、これがスマトラ沖の暖水の起源になることを示唆している。

アラビア海では、7月にソマリアからアラビア半島沿岸でD20が小さくなっており、沿岸域で湧昇が起っていることを示している。一方、その沖のアラビア海中央部では厚い暖水域が形成されており、それらの境界は強い水温前線となっている。この状況は9月まで続き、11月にもその影響が残っている。これは岸沿いに北東に向かって吹くソマリージェットによるものと考えられ、ジェットの軸（最強部）と、水温前線とがおそらく対応し、ジェットの岸側はエクマン輸送の発散域、沖側が収束域となるためと考えられる。

ベンガル湾ではモンスーン休止期の5月および11月にインド半島東部およびアンダマン海にかけて暖水が見られる。これは、スマトラ沖に暖水が蓄積される時期にあたっており、おそらくこの暖水が岸沿いに北上するためであろう。これは沿岸ケルビン波を考えれば説明可能である。

② D20のアノマリーの季節変動特性

D20の月別偏差分布を1ヶ月おきに図3に示した。1月には暖水は赤道付近を除くインド洋中部で厚く、東部では特にアラビア海中西部は薄くなっており、東部は平均的な値を示している。インド半島付近ではほぼ東西方向に帯状に暖水が伸びており、この赤道側の縁辺部では西に向かう北赤道海流または北東モンスーン流が強化されていると思われる。北東モンスーンも終わりに近づく3月に入ると、東西のコントラストが明瞭になり、アラビア海～アフリカ沖で暖水が厚くなり、逆にスマトラを中心に東インド洋には厚い暖水が存在しなくなる。1～3月のD20のアノマリーの動きは西へと進んでおりロスビー波を示唆している。5月にはスマトラ沖に暖水が移動しており、西部インド洋ではアラビア海を除き、厚い暖水はなく、暖水が急速に東に輸送されたことがわかる。これは赤道ジェットによるものであり、実体はケルビン波であろう。7月にはスマトラ西岸は負のアノマリーとなって赤道方向に帯状に伸びているがその外側には正のアノマリーが南北半球それぞれに見られ、これは蓄積された暖水が西に移動していると考えられ、ロスビー波を示唆している。この月にはアラビア海で厚い暖水のアノマリーが見られるが、これは前節でもふれたソマリージェットのエクマンポンピングによるものである。9月は比較的3月と似たパターンでスマトラ沖を中心に東部で負、西部で正であるが、南半球側が全体に厚い暖水で占められ、北半球側のアラビア海およびベンガル湾の奥部では3月と異なり厚い暖水が見られない。これは7月以来続いており、モンスーンの風の場合はアラビア海中部以外ではエクマン輸送の顕著な収束がないことを示している。11月にはアフリカ沖のそれまであった厚い暖水は見られず、スマトラ沖に広がっている。ただし5°～10°S帯に帯状の暖水があり、5月の

ようにスマトラ沖のみに集中しているわけではない。これは11月以前の9月にも存在しており、さらに7月でも 10°S 、 95°E 付近に厚い暖水が現れており、これが発達しながら西進しているようであり、1月に中部インド洋の南半球側に見られた暖水に連なっていくのであろう。その動きはロスビー波と思われるが、その原因は十分検討する余地がある。

③ D20のアノマリーの伝播

上記でD20のアノマリーが東西方向に伝播することが示唆されたため、赤道上および 4°N で時間／経度マトリックスを作成した(図4)。赤道上では(図4上)、全体に時間の経過とともに暖水が東へ伝播していることがわかる。2ヶ月程度でインド洋を横断しているので、その伝播のスピードは約 1 m/sec となり自由モードのケルビン波の位相速度($\sqrt{g^*h}$; g^* はリデューストグラビティ $g\Delta\rho/\rho$ で、 $\Delta\rho$ は上下層の密度差、 h は上層の厚さ。 $\Delta\rho\sim 0.03$ 、 $h\sim 100\text{ m}$ と見積もれば 1.7 m/sec)としてはやや遅いが、月別の図からは正確な速度を求めるのは困難で、おおよそあっていると評価してよいであろう。3月頃アフリカ沖で4月には 70°E 、5月にはスマトラ沖に到着し、6月まで暖水プールを形成している。11月にも暖水の東方への移動が起こっているが、5月程顕著な暖水プールは形成されず、暖水の移動も 70°E 付近でとぎれており、ここから東への移動が顕著になるようである。この付近はモルジブ諸島があり、この影響があるのかもしれない。4月でも 70°E 付近に一旦暖水が集まっているようにも見える。よって、モルジブ諸島は何等かの影響を及ぼしているものと考えられる。

一方、 4°N では赤道とは逆に全体に西に伝わっていることがわかる。位相速度は赤道よりも遅く、インド洋を横断するのに4ヶ月程度を要しており、位相速度は 0.5 m/sec 程度である。これはロスビー波と考えて良いであろう。子細に見ると、 70°E 付近で伝播の様子が変化しており、モルジブの影響がここにもあるのかもしれない。

(2) 観測網の展開

本年度これまでに得られ、断面図の検討を行った観測点のみを図5に示す。なお、これ以外にも多くの地点で観測がなされている。

① 赤道横断XBT観測(スマトラ沖)

スマトラ北端沖から南に 93°E 線に沿って、 $10^{\circ}\text{S}\sim 5^{\circ}\text{N}$ 間を30海里間隔で赤道横断南北連続観測を実施した。観測期間1992年11月10日から13日である。得られた鉛直断面を図6(上)に示す。赤道付近の上層構造は $1^{\circ}\text{N}\sim 2^{\circ}\text{S}$ の間で 28°C の高水温の 100 m を越える表層等温層が見られ、この部分が最も厚くなっている。赤道 $\sim 5^{\circ}\text{N}$ の間は北に向かって躍層が浅くなっており、東向流があることを示している。

一方、 $2^{\circ}\text{S}\sim 5^{\circ}\text{S}$ の間は表層の等温層は南に向かって薄くなっている

が、 20°C を中心とする躍層は、逆に南に向かって下がっており、西向流もしくは東向流の成分が弱いことを示唆している。 $5^{\circ}\text{S} \sim 7^{\circ}\text{S}$ にかけては躍層が上昇し、 7°S 付近が最も躍層が浅くなっているが、この傾斜の部分は東流する南赤道反流域に相当するものであろう。

前節のD20の季節変化のパターンから、10～11月には赤道上を西風が吹くことによって、東向きの赤道ジェットが発生し、上層の暖水がスマトラ沖に蓄積されることが示された。よって、この赤道上的厚い暖水は赤道ジェットにより運ばれここに蓄積されているものと考えられる。

これまでに得られた11月の水温断面図を図7に示した。1990年、1991年の例では、この月内に時間の経過とともに赤道付近の表層の等温層が深くなっていくことがわかり、暖水の蓄積が月中旬あたりから顕著になってくる。一方南北緯度 5° 付近では躍層が薄くなっており、赤道に海水が集められることを示唆している。過去3年間では表面付近は 28°C の水に占められ、これはほとんど変化しない。ただ水温構造は年々少しずつ異なっており、1992年は前年と比較すると、北半球側で躍層の傾度が強く、ここでは東向流は大きかったと考えられる。一方、南半球側では本年度の $2^{\circ}\text{S} \sim 5^{\circ}\text{S}$ 間の躍層が南に向かって下がっているが、このパターンは前年および2年前にも見られていない。

② 昭南丸によるインド洋横断XBT調査

ジャワ沖からマダガスカルの南に至る航路上で実施したXBTによる水温鉛直断面を図6（下）に示す。 20°S に相当する 90°E 付近が最も厚い暖水の分布がみられる。これはこの付近がインド洋の南半球側の亜熱帯循環の中央部にあたっているからである。 30°S に相当する 48°E 付近は急激に躍層が浅くなっており亜熱帯循環の縁辺部で、表面にも水温前線が現れている。 $90^{\circ}\text{E} \sim 48^{\circ}\text{E}$ の間は亜熱帯循環内部と考えられるが、躍層の凹凸もかなり見られ、海流の蛇行や渦が存在しているものと考えられる。

③ 漁船等による観測

一方、まぐろはえなわ漁船は、インド洋を広域に行動しており、これらの漁船に簡易型BTによる水温観測を依頼して資料収集をはかってきた。近年航海が長期化しており、資料の回収に時間を要したが、1991年までの資料が得られ200点を越える水深／水温データ資料が集まった。なお、セーシェルを中心に西部インド洋で周年実施されたXBT資料は現在船が日本に向かっていているため未着である。

4. 考察

(1) 既往資料の解析

インド洋の主に熱帯海域に関して、表層の暖水はかなり明瞭な季節的な変化のパターンが得られた。基本的には、表層の暖水はロスビー波の力学

に支配され西進してアフリカ側に蓄積され、5月および11月には赤道ジェット（基本的にはケルビン波の力学）により急速にスマトラ側に輸送され、これが半年毎に起こるというパターンである。スマトラ側の暖水はベンガル湾内にも一部輸送されると見られこの湾も間接的に赤道ジェットの影響を受けている。一方、アラビア海は1年の周期が明瞭である。南半球側は資料が乏しく、このような解析はデータのノイズが避けられないが、D20のアノマリーは、この海域で西に伝わっているように見える。この海域は南赤道反流トラフになる所であり、これは上に述べたような1年周期の変化を持ち、基本的には海上風の応力分布に支配されるはずである。この応力の変化がこのようなアノマリーの伝播を作り出している可能性がある。いずれにせよ正確な風応力のデータ解析が必要である。

(2) 観測網の展開

今年度と、これまでの赤道横断XBT調査によって、11月頃に起こる赤道ジェットによる暖水の東方への輸送によりスマトラ沖へ蓄積される様子がとらえられた。これは前節の季節別長期平均に現れた季節変動と同じであった。既往のデータから得られた月毎の平均像が、このような個々の水温断面にも現れていれば、その構造の季節変化はより確かなものと認められる。また、年々の変化もある程度とらえられたが3年間のみであり、今後とも引き続き観測を実施する必要がある。

5. 引用文献

- 1) Mizuno K. and T. Watanabe(1993): Seasonal Vertical Temperature Profile in the Indian Ocean. Bull.N.R.I.F.S.F S-series No.22, 102pp.
- 2) Wyrtki, K. (1973): An equatorial jet in the Indian Ocean. Science, Wash. , 181:262-264p.

6. 成果の発表

1) 国内

発表者名	発表課題	学協会誌名等	備考
(論文) Mizuno K. and T. Watanabe(1993)	Seasonal Vertical Temperature Profile in the Indian Ocean.	Bull. N.R.I.F.S.F S-series No.22. 102pp.	
(口演) Mizuno K. and T. Watanabe(1992)	Annual and inter- annual variability of SST in the Indian Ocean.	International Symposium on Asian Monsoon 83-85p.	
(口演) 田 島 宏 子 水 野 恵 介	インド洋における表 層水温の変動について	日本海洋学会 1992年度日本海洋学会春季大会 講演要旨集 113-114p.	

2) 国外

発表者名	発表課題	学協会誌名等	備考
(論文) K. Mizuno	Japan National Report	Report of the Seventh Session of the CCCO Indian Ocean Climate Studies Panel, SCOR-IOC/CCCO-IND- VII/3 Annex IV 1992.8.	

7. 関係国との協力

1992年8月にインドのバンガロールで開催されたC C C O（気候変動における海洋の役割に関する委員会）のインド洋パネルに出席した。この会議には、日、米、豪、独、仏、露、印、インドネシアの8ヶ国12名が参加し、インド洋におけるT O G A、W O C E、などの計画の現状と、将来のG O O Sに向けどのような観測・研究を実施すべきかを論議した。また、本プロジェクトについて、ナショナルレポートの中で報告して各国とも興味を示し、報告書の配布を希望する国が多く、科学技術庁担当者に依頼し、これに応えるようにした。なお、この参加に関しては、東京大学（松野教授・山形助教授）の支援を得た。改めてお礼申し上げる。

図の説明

図 1 . 水深／水温データの分布（1906～1990年；123,646点）

Figure 1. Geophysical temperature/depth data distribution(1906～1990；123,646 Observations).

図 2 . 月別 D 2 0 分布（×10m）.

Figure 2. Monthly long-term mean D20 distribution (x10m).

図 3 . 月別 D 2 0 アノマリー分布（×10m）.

Figure 2. Monthly anomolous D20 distribution (deviation from total long-term mean ;x10m).

図 4 . 赤道（左図）および 4°N（右図）における D 2 0 のノーマライズされたアノマリーの時間／経度マトリックス．1 年周期を見やすくするため，時間軸は 2 4 ヶ月分とり，2 回の繰り返しになっている．負のアノマリーに影を付け，コンター間隔は 0 . 5 .

Figure 4. Time/Longitude matrices of normalized anomalous D30 at the equator(Left panel) and 4N. Time axes are extended up to 24 months in order to show annual cycle clearer. Negative anomalies are shaded and contour interval is 0.5.

図 5 . 平成 4 年度に実施された X B T および B T 観測点．実施した船名は図中に示す．

Figure 5. Geographical distribution of XBT observation conducted in FY 1991. Ship names which conducted XBT observations are shown in the figure.

図 6 . 水温鉛直断面．（上；神海丸，下；昭南丸による）

Figure 6. Vertical sections of temperature. Upper panel; Sinkai Maru. Lower panel; Syonan Maru.

図 7 . 1 9 9 0 年以降観測された 1 1 月におけるスマトラ沖の 9 0 ° E 付近の赤道を横断する水温鉛直断面．

Figure 7. Meridional vertical sections of temperature along around 90E off Sumatela observed in November since 1990 in this project.

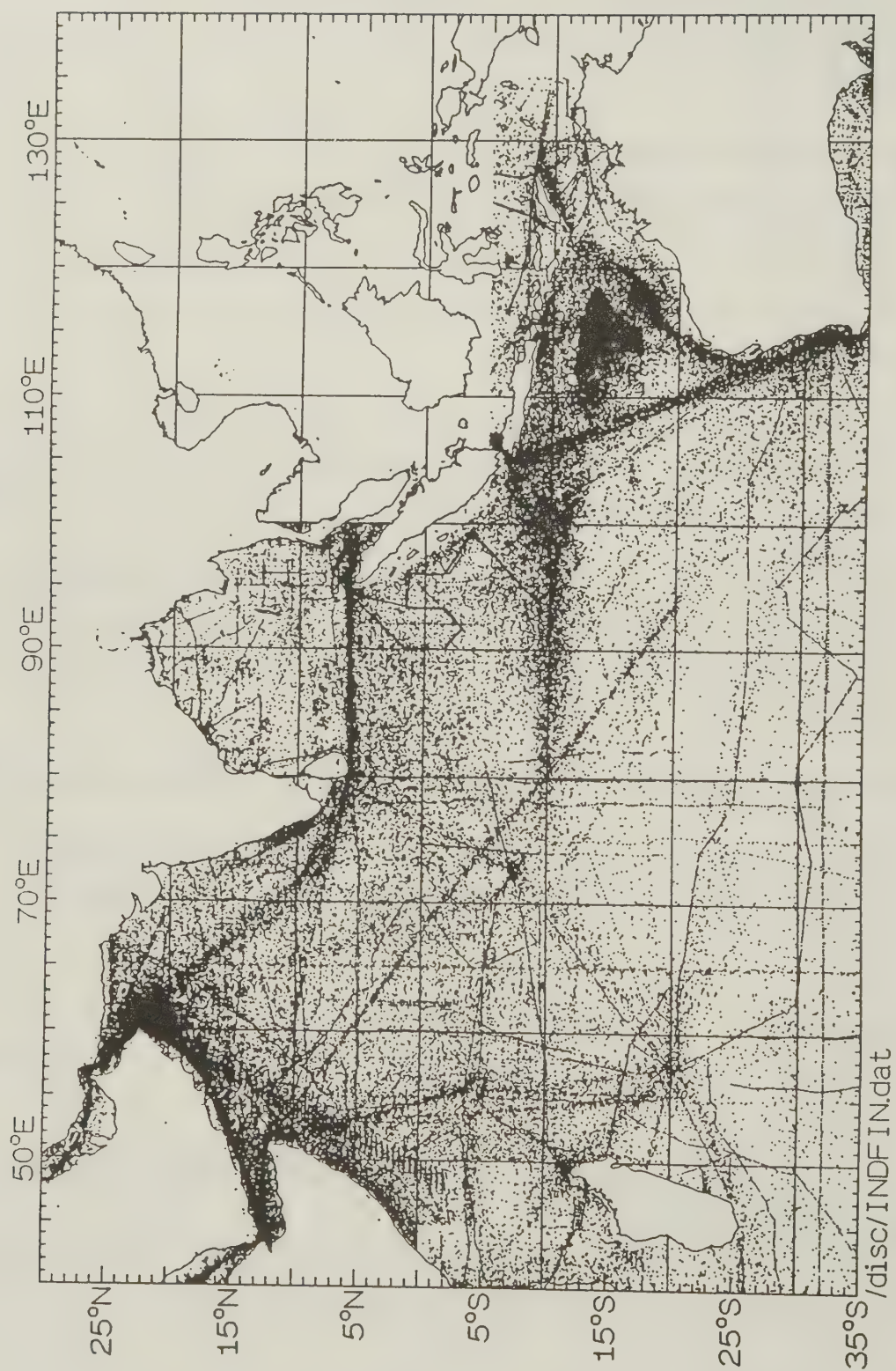


Figure 1

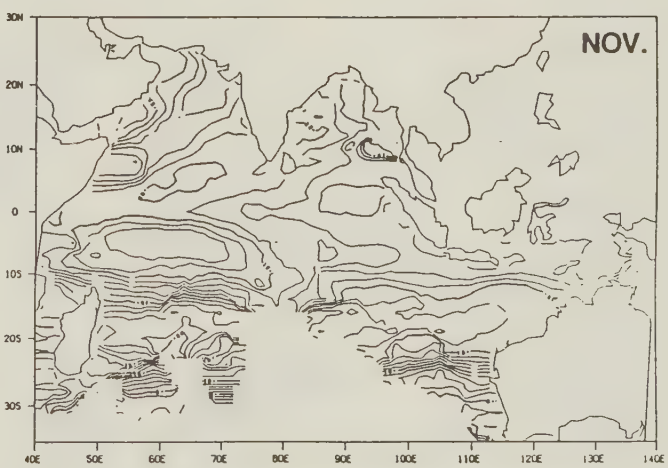
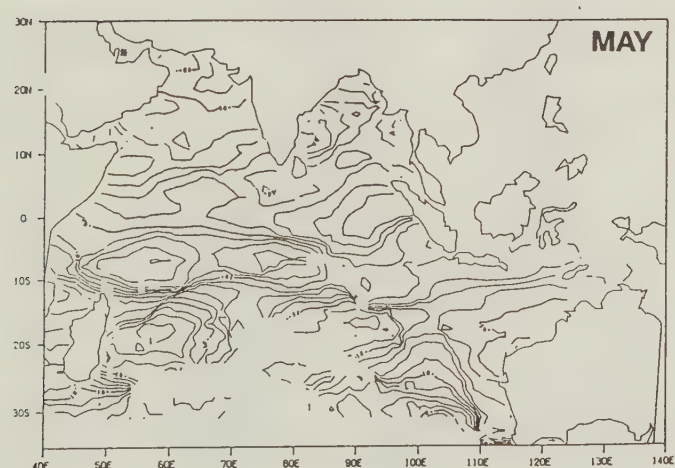
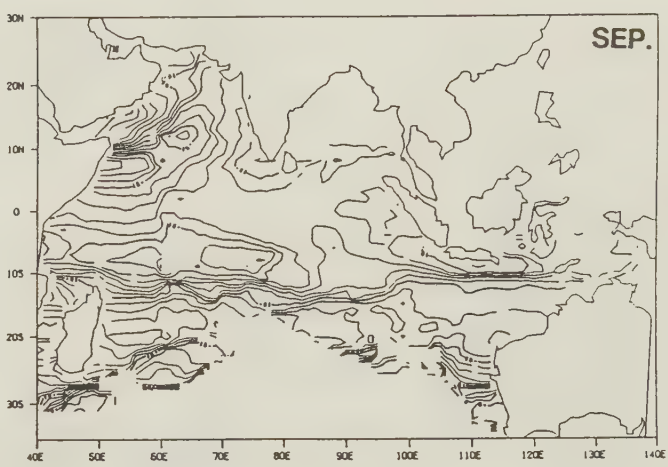
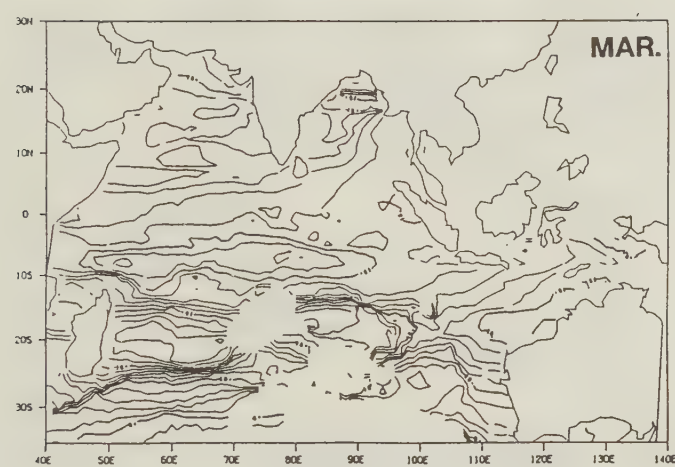
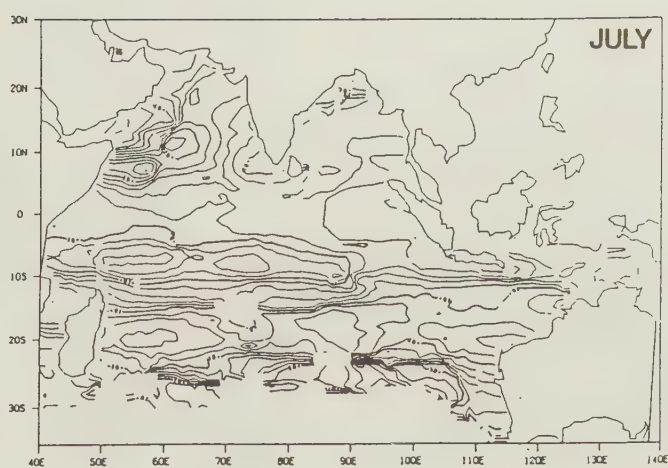
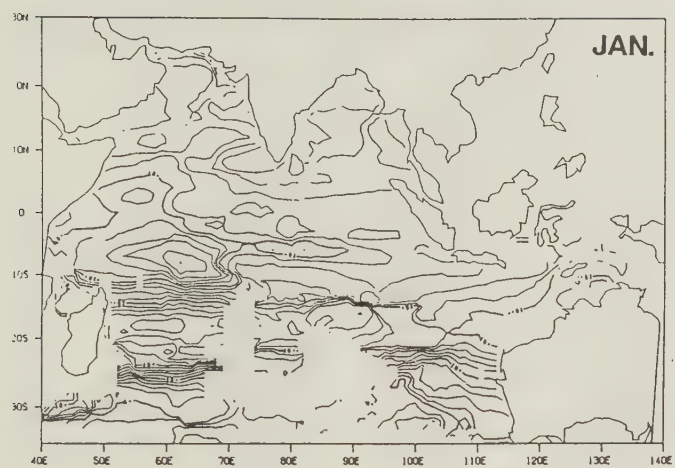


Figure 2

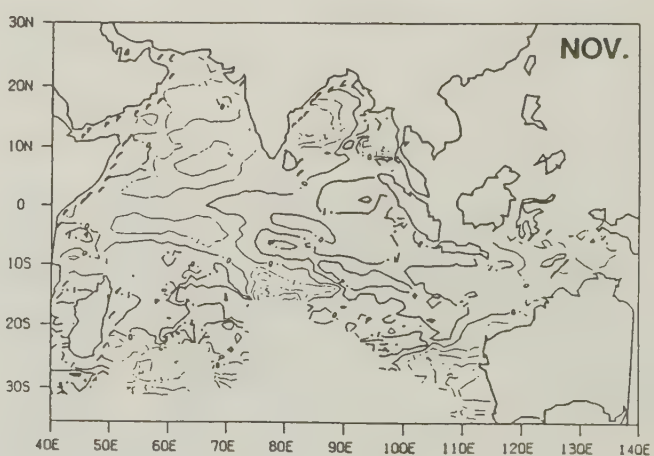
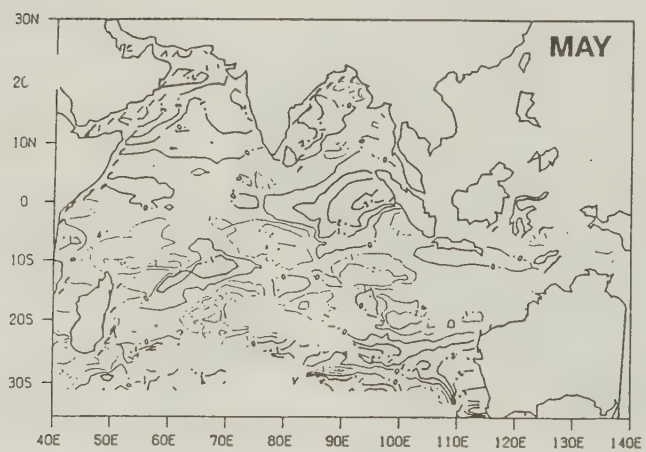
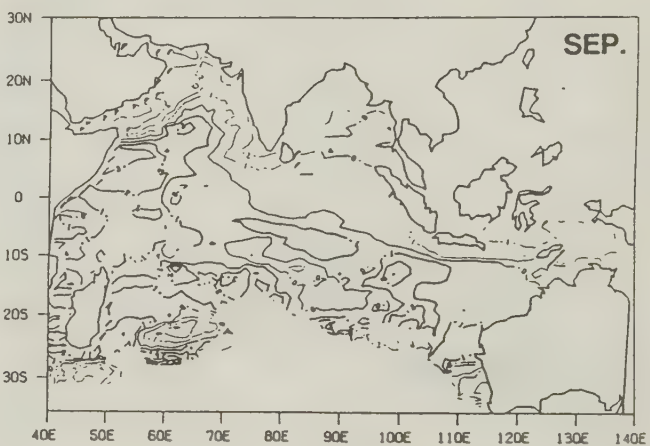
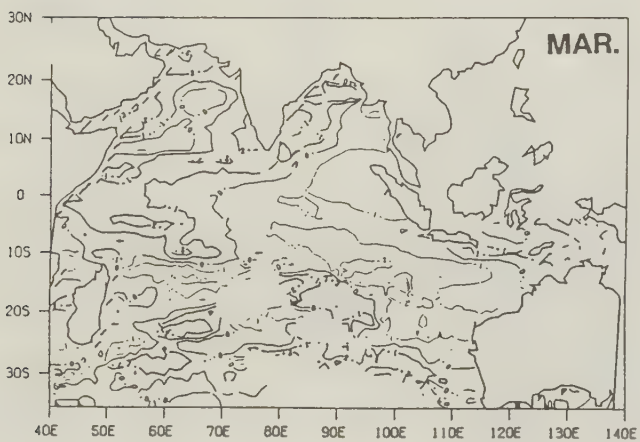
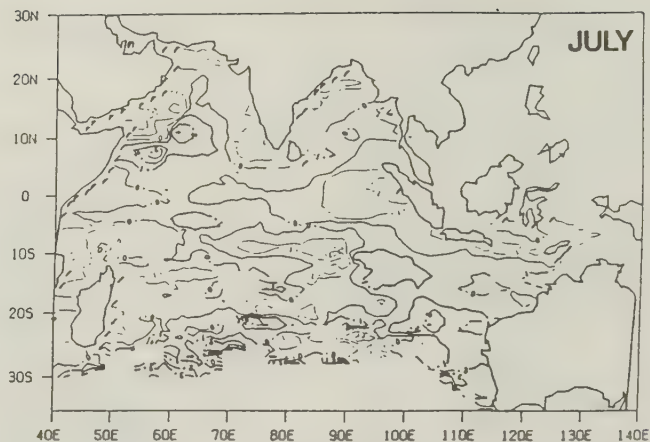
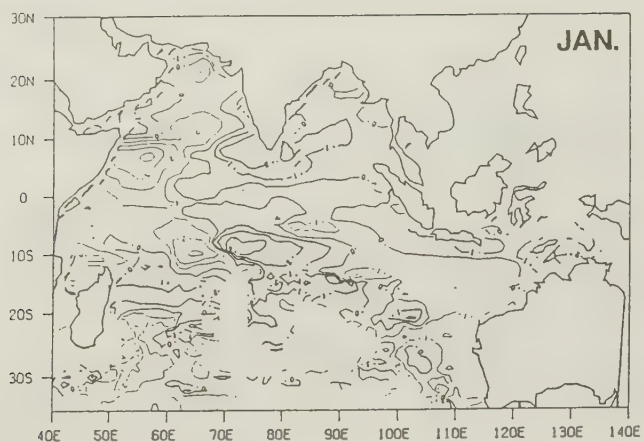


Figure 3

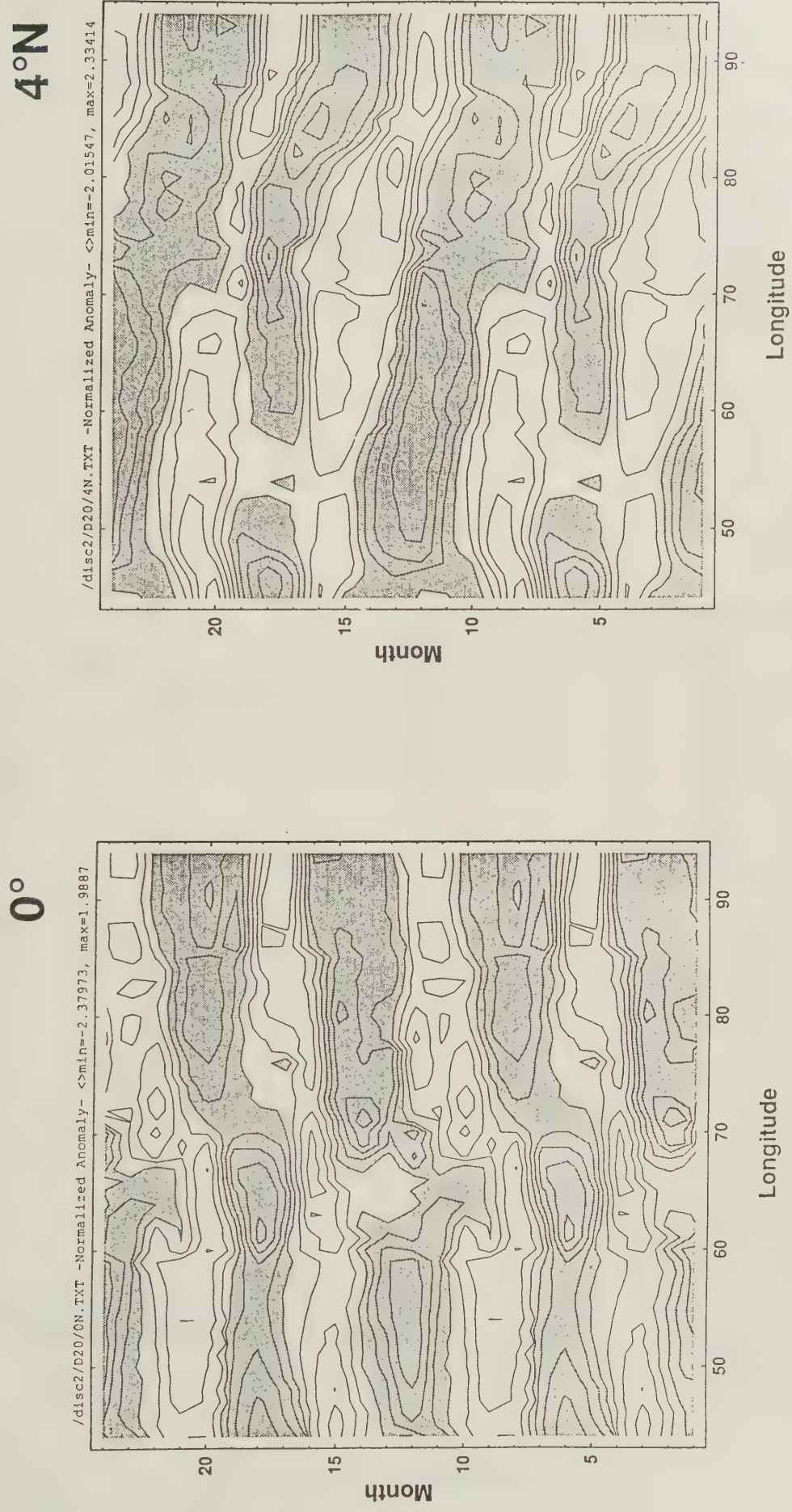


Figure 4

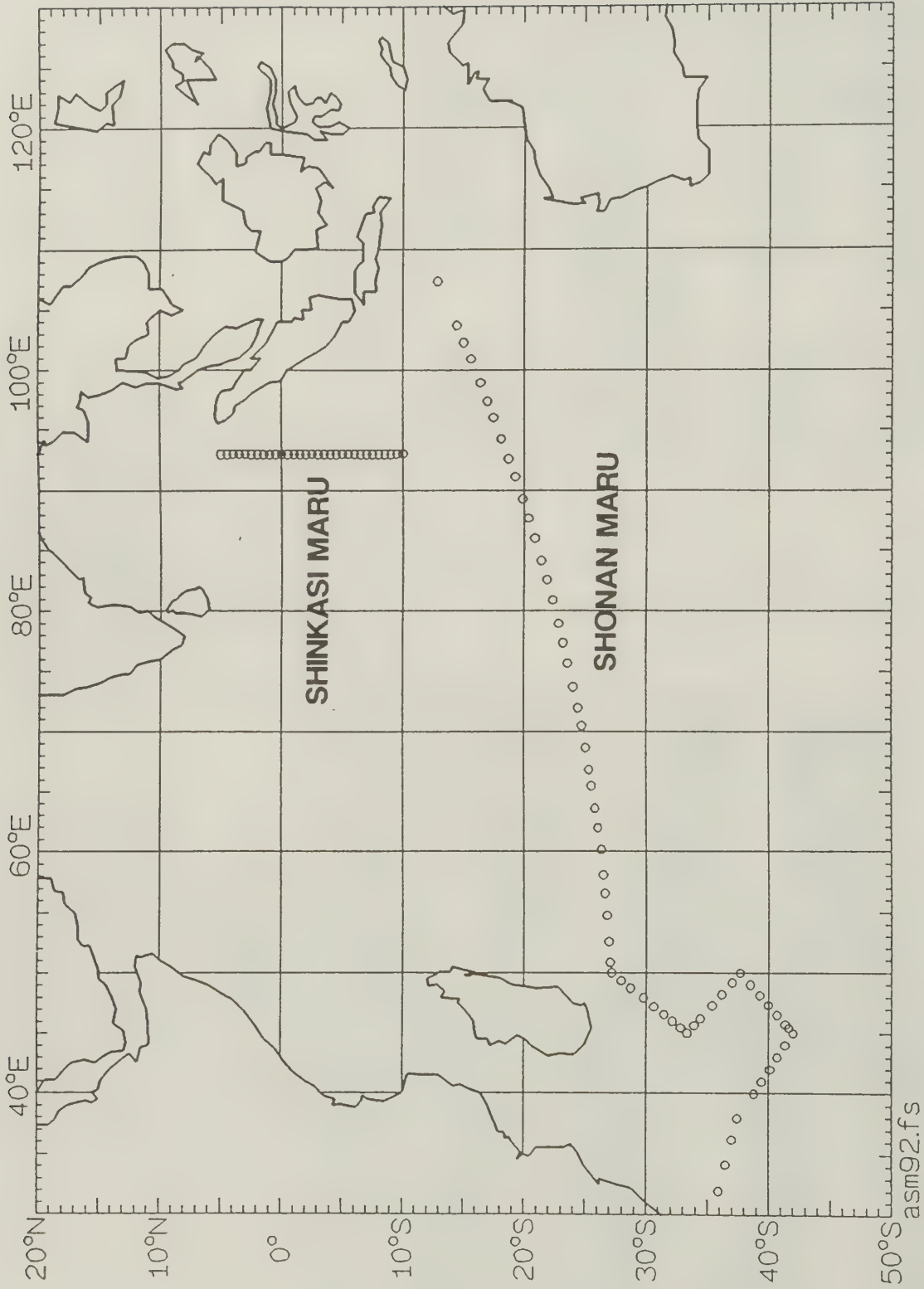


Figure 5

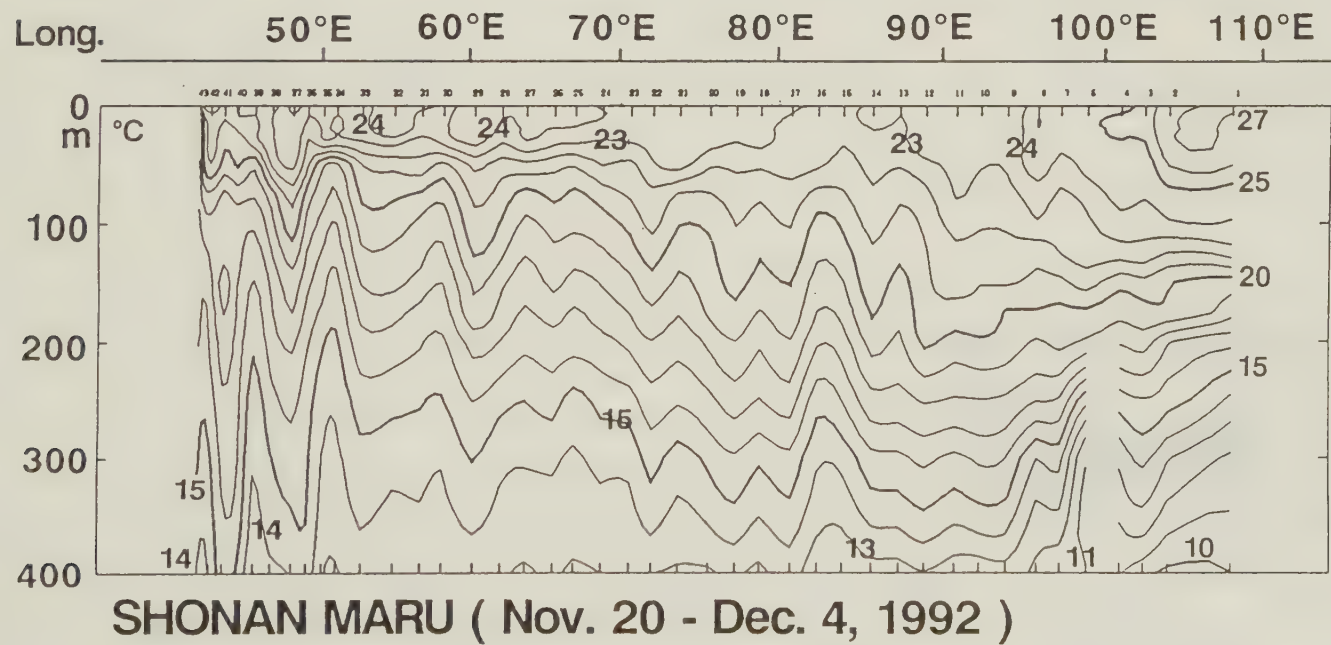
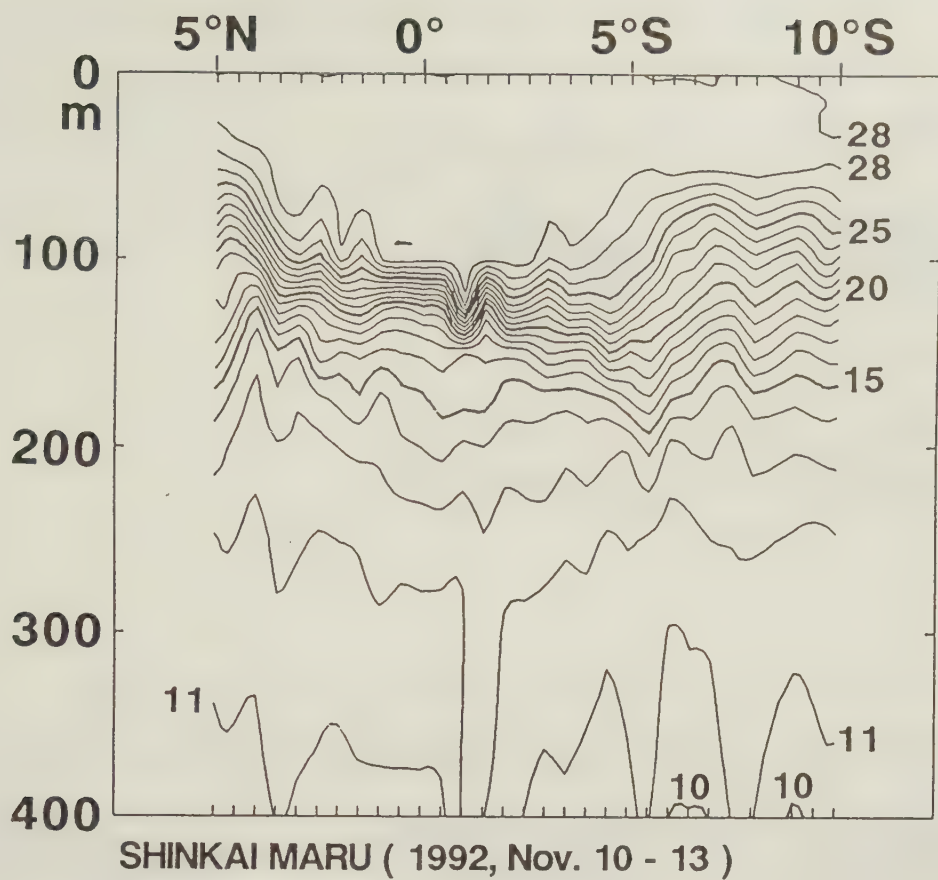


Figure 6

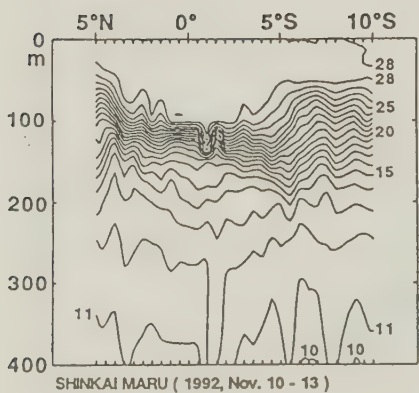
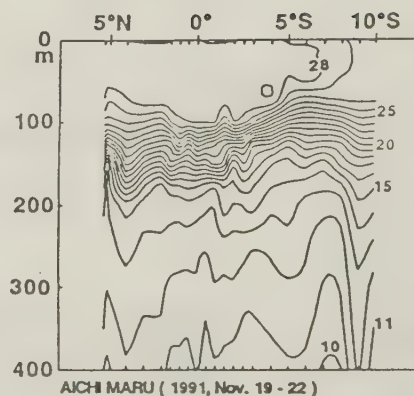
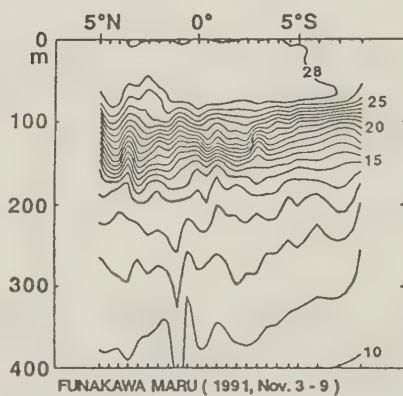
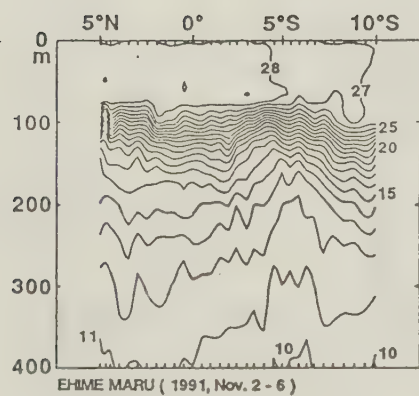
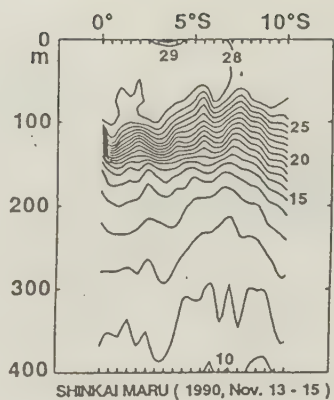
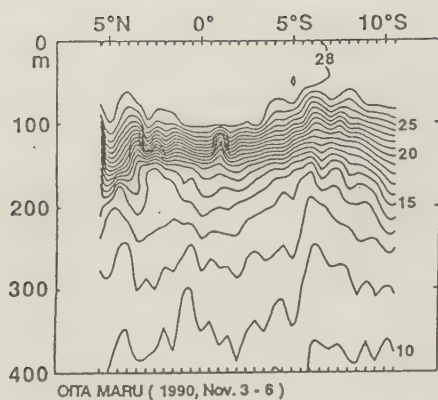


Figure 7

1. 大気を媒体とした海陸相互作用及び長周期変動に関する観測・解析研究

Study on Air-Sea-Land Interactions and their Long Term Variations

(1) 海洋に関する観測研究

Observational Study on the Indian Ocean

① 表層水温に関する観測的研究 (商船)

Observation on Sub-Surface Temperature by Voluntary Ships (Merchant Ships)

気象庁海洋気象部

安藤 正、吉田 隆、熊本真理子

Marine Department, Japan Meteorological Agency

Tadashi Ando, Takashi Yoshida and Mariko Kumamoto

(Abstract)

Subsurface temperature observations are made by two voluntary ships in the Indian Ocean. One is a crude oil tanker operating between Japan and the Persian Gulf and observation is ongoing since October 1990. Another is a cargo carrier recruited cooperatively by Japan Meteorological Agency and ORSTOM, Brest, which has been making observation between the Malacca Strait and the Cape of Good Hope since April 1990.

In the Arabian Sea, clockwise circulation is recognized during the south-west Monsoon, but it disappears during the north-east Monsoon.

Along the zonal route south of the Bay of Bengal, the thermocline declines eastward in June and is generally flat in other seasons. Vertical temperature inversions are found in the surface mixed layer in December.

Along the route which crosses diagonally the South Indian Ocean from south of Madagascar northeastward to the Malacca Strait, surface warm water spreads from equatorial eastern Indian Ocean southwestward to 15-18°S, in February through April. But it reaches only to 5°S in August. Surface warm water accumulation caused by a strong eastward jet flow along the equator is found in the eastern equatorial Indian Ocean in April/May and in October/November, in the period of Monsoon transition.

Vertical thermal inversions in temperature profiles at depths around 300m are found off the Gulf of Oman in the Arabian Sea. These are considered to be caused by an intrusion of warm and saline waters which originates in the Persian Gulf.

1. 研究目的

インド洋から東南アジア周辺にかけての海域は、アジアモンスーンの舞台であり、さらに、その海況は、全世界の気象に大きな影響を及ぼすエルニーニョ現象の消長とも密接な関連があると考えられている (Barnett(1983)[1]、Nicholls(1984)[2])。しかしながら、インド洋から東南アジア周辺にかけての海洋観測は非常に少なく、海況の把握は十分に行われていない。

本研究では、インド洋を定期的に航行する商船に、表層水温観測装置と、その観測結果を気象衛星を経由して通報する装置を搭載して、インド洋・東南アジア周辺海域における表層水温観測データを取得するとともに、全球気象通信網 (GTS回線) を通して全世界の気象機関にこれらのデータを配信する。また、GTS回線を通して得られる他機関による表層水温データと併せ、これらの海域の表層海況を解析し、アジアモンスーンと関連した季節変動・年々変動の特性等を解明する。さらに、これらのデータのデータベースを構築し、他の研究項目によるアジアモンスーン機構の研究に供する。

2. 研究方法

日本～マラッカ海峡～ペルシャ湾を航行するタンカー「鹿島山丸」及び日本～マラッカ海峡～喜望峰を航行する貨物船「Delmas Tourville」に表層水温観測・通報装置を整備して航路に沿った表層水温の観測・通報を委託し、インド洋及び南シナ海の表層水温データを取得する。

得られた表層水温断面から航路に沿った海域の表層水温の変動を調べた。また、インド洋の主要航路の一つであり一部「鹿島山丸」の航路でもある、マラッカ海峡からスリランカを経てアデン湾に至る航路に着目し、「鹿島山丸」も含めたこの航路沿いの一般船舶による表層水温データを用いて、その季節変動及び年々変動について調べた。

3. 研究成果

(1) 委託商船

① 鹿島山丸

「鹿島山丸」は、(株)国際エネルギー輸送が運航する13万トンの原油タンカーで、約50日毎に日本とペルシャ湾の間を往復する。本研究では「鹿島山丸」に、南シナ海 (110°E 以東)、ベンガル湾南方及びアラビア海で、原則として1日4回、約100海里毎の表層水温観測・通報の実施を委託した。表層水温データは水温鉛直分布の特異点を報ずる BATHY 報により気象衛星経由で気象庁に通報されるとともに、日本入港時に詳細なデータを収録したフロッピーディスクが気象庁に郵送される。

「鹿島山丸」による観測は、1990年10月中旬から93年4月までに32回 (16往復) 行われ、計645点の表層水温データが得られた。図1に本船の航路と観測点の例を示す。

② Delmas Tourville

「Delmas Tourville」(1991年5月に「C. R. Point-Noire」から改称) による観測は、フランスのORSTOM (Organization of Research on Science and Technology Outside Marine) と共同で実施され、ORSTOMが表層水温観測・通報装置の整備、管理を行い、気象庁は日本寄港時にXBTプローブの供給を行う。本船はリベリア船籍の貨物船で、日本と喜望峰の間を約4か月毎に往復する。本船による観測はマラッカ海峡～喜望峰で原則として1日4回実施され、観測されたデータはBATHY報としてGTS回線を通じて入手するほか、詳細なデータを収録したフロッピーディスクは本船がレ・ユニオン島 (マダガスカル島沖) に寄港する際に回収され、ORSTOMを経由し

て気象庁に送付される。

「Delmas Tourville」による観測は、1990年4月の開始以来、93年5月までに22回（11往復）行われ、計393点の表層水温データが得られた。図2に本船の航路と観測点の例を示す。なお、91年3月から92年10月までの間、装置のトラブルにより観測は断続的にしか行われなかった。

(2) 航路に沿った水温断面

① 鹿島山丸

90～93年の各年で比較的観測時期が一致する、3、6、9、12月の航路に沿ったアラビア海（80°E以西）とベンガル湾南方（80°E以东）の水温断面図を図3に示す。

ア. 3月（図3 a、北東モンスーン末期）

アラビア海： 各年とも表面混合層の水温は北西部ほど低く、混合層の厚さは100m程度である。28℃以上の暖水は南東部に限られる。水温躍層下の等温線は北西部ほど深くなっており、水温は南ほど低い。

ベンガル湾南方： 混合層の厚さは60～100m、海面水温は28℃台である。

イ. 6月（図3 b、南西モンスーン初期）

アラビア海： 91年しか断面が得られていないが、混合層の水温は3月に比べ中部～北西部で昇温し、中央部で29℃台、南東部・北西部で28℃台。躍層のほぼ中心に相当している20℃の等温線も中央部で深く、アラビア海中央部に時計回りの循環が認められる。躍層下の等温線は3月と同じく北西部ほど深い、65°E付近に冷水のリッジがみられる。

ベンガル湾南方： 躍層は東に大きく傾き、混合層水温も東ほど高く29℃台となり、インド洋東部熱帯域の暖水層は厚くなる。92年の83°E付近に冷水のリッジが認められる。

ウ. 9月（図3 c、南西モンスーン末期）

アラビア海： 6月に引続きアラビア海中央部を中心に時計回りの循環がみられる。中央部の混合層の最深部は、91年には100m程度あるのに対し、92年は70mと浅い。混合層の水温は他の月に比べ最も低く28℃台は南東部の20m深までに限られる。

ベンガル湾南方： 6月にみられた等温線の東西の傾きはなくなる。混合層の水温は91年は28℃台で92年より高い。

エ. 12月（図3 d、北東モンスーン期）

アラビア海： 3月と同じく、混合層の水温は南東部ほど高く68°E以东（南）で28℃台。南西モンスーン期にみられたアラビア海中央部に中心を持つ時計回りの循環は消失している。60°E以西まで観測が行われた92年の断面では、躍層下の等温線の北西方向への傾きは62°E付近までで、オマーン湾沖の60°E付近の300m付近では水温逆転がみられるなど（(4)参照）、複雑な分布を呈している。

ベンガル湾南方： 水温躍層の東西勾配は小さく、混合層の水温は28℃台で、各年とも混合層内で水温の逆転が認められるとともに、83～86°E付近に冷水のリッジがみられる。

② Delmas Tourville

本船の航路に沿った、マダガスカルからマラッカ海峡にかけてインド洋を斜めに横切る水温断面を図4に示す。前述したように91年3月から92年9月までの間は、観測が少なく断面は得られなかった。

90年4月から91年2月の断面では、90年4月には28℃以上の暖水層は赤道域から15°S、65°Eまで広がっていたが、南西モンスーン期の8月には5°S、80°Eまで後退し、その後

は徐々に南へ広がり、北東モンスーン期の91年2月には18°S、61°Eまで達した。また、両モンスーンの移行期にインド洋の赤道付近を東向きに流れるジェットにより、西部から東部へ暖水が運ばれることが知られているが（Wyrski(1973)[3]）、本船の観測でも移行期に相当する、4、5、10、11月の赤道、87°E付近で、暖水の蓄積が認められる（平成2年度本報告書）。

92年10月から93年5月の断面でも、各月の上層の暖水の分布は90年4月～91年2月の各月とよく似た変化をしている。また、モンスーン移行期の92年10、11月及び93年5月には赤道ジェットによると考えられる暖水の蓄積がみられる。そのほか、92年10月に9°S、74°E付近にみられた冷水のリッジは、翌11月には8°S、75°E付近を中心に顕著になった。その後、この冷水のリッジは、93年2月にはやや南に移動したが、4月には消失した。

(3) 20℃等温線深度の変動

インド洋熱帯域の表層水温の変動を調べるため、比較的データの豊富な、マラッカ海峡からスリランカ沖を経てアデン湾に至る線（図5）に沿って、気象庁がGTS回線を経由して収集した一般商船による表層水温データをもとに解析を行った。スリランカから東では「鹿島山丸」のデータも含まれる。

解析はデータがある程度まとまって得られた1988年以降を対象とした。表層水温構造の変動は水温躍層の変動に代表され则认为られるため、ここでは躍層の深度として20℃等温線の深度を採用した。各表層水温データは位置、深度、水温等について品質管理を行ない、20℃等温線の深度を決定した。図6に観測点の経度－時間分布を、図7に20℃等温線深度の経度－時間変化を示す。

80°E以西の南アラビア海では、20℃等温線深度は全般に西で深く東で浅いが、1年周期の季節変化がみられる。変化の位相は西に対し東が先行し、躍層の深化（浅化）は東から西へ伝播するようにみえる。東（75°E付近）では北東モンスーン期の北半球の冬に深く、120mに達し、夏から秋にかけて浅く、100m以下になる。一方、西（60°E付近）では東とは逆に、南西モンスーン期の夏から秋にかけて深く、140mに達し、冬には浅くなる（120m程度）。したがって東西方向の水温躍層の勾配は夏のモンスーン期に大きくなり、冬にはほとんどなくなるといえる。

91年から92年にかけて特にアラビア海南部でデータが一部欠けているが、88年以降の年毎の変動をみると、南西モンスーン期に年々変動が大きいといわれているソマリア沿岸（55°E付近）では（Wyrski(1973)[3]）、88年の9、10月頃には80m以浅であったが、90年のほぼ同時期には180m以上と100mも差がある。75°E付近では変動の振幅が年毎に変化しており、88/89年の冬は他年の冬が120m前後なのに対し、160m以深に達した。一方、90年には、その前2年に比べ、夏のモンスーン期以前から100m以浅状態が続くなど浅い期間が長く、最浅期も89年には10月であったが、7、8月になるなど年毎に大きな違いがみられる（前年度本報告書）。

ベンガル湾南方の85～95°Eでは、アラビア海ほど季節変化が顕著ではなく、年々の変動が卓越しており、91年2、3月には前年までほとんどみられなかった100m以浅の状態になり、その直後の4～6月には逆に140m以深になった。91/92年の冬にも90°E以東で再び100m以浅になった。

(4) オマーン湾沖合の水温逆転 —— 高塩分中層水

「鹿島山丸」が観測した、アラビア海北西奥部、オマーン湾沖合（60°E付近）の水温鉛直プロファイルの中で、300m深付近を中心に2～3℃の水温逆転がみられる例が見つかった（図8）。この水温逆転は同じ海域で必ず現れるものではなく、1℃を越える逆転を持つプロファイルは、90年の観測開始以来、10例しか見つかっていない。水温逆

転のピークの深度は150～400 m深、逆転層上層の水温は15～18℃、逆転層の最高水温は17～20℃であり、逆転のピークが2つあるプロファイルもある。

この水温逆転はこの92年12月の往復の観測とも見つかっており、安定に存在していると想像されることから、密度の逆転は考えにくく、逆転した高水温層は高塩分であることが推定され、ペルシャ湾起源の高温な高塩分水（Wyrcki(1971)[4]）が、ペルシャ湾からオマーン湾を経てアラビア海に流出したものと考えられる。また、逆転する水温の値に大きな差はないが、現れる深度や逆転層の厚さ、水温差は個々に異なっている。これらから、高温・高塩分の水は小さな空間スケールの水塊で間欠的にアラビア海に流出しているものと考えられる。

4. 考察

「鹿島山丸」の観測データは、90年10月の開始以来、約2年半にわたって蓄積され、同じ航路に沿った季節変動が、また2年半分ではあるが年による変動もとらえられた。

「Delmas Tourville」の観測装置のトラブルは92年10月には解決し、その後は順調に観測が続けられており、データの蓄積が期待される。

T O G A、W O C E両計画は、共同で全球にわたるX B T観測ネットワークの構築を推進しているが、インド洋は太平洋・大西洋に比べ観測が少なく、観測の強化が強く望まれている。本研究の2船の観測は、このX B T観測ネットワークに大きな貢献を果たしている。

海洋観測データの少ないインド洋の海洋表層の変動を把握するためには、今後ともデータを蓄積していくことが重要であり、その変動機構の解明に向けて他の研究項目との連携が不可欠である。

5. 引用文献

1) T. Barnett; Mon. Weather Rev., 111, 756(1983)
2) N. Nicholls; Mon. Weather Rev., 112, 424(1984)
3) K. Wyrcki; Science, 181, 262(1973)
4) K. Wyrcki; Oceanographic Atlas of the International Indian Ocean Expedition, National Science Foundation, Washington, D. C., pp.531(1971)

6. 成果の発表

①口頭発表

発表者名	発表題名	学協会誌名等	備考
Tadashi Ando	Observation on subsurface temperature by voluntary merchant ships in the Indian Ocean.	International Symposium on Asian Monsoon (1992年9月)	

7. 関係国との協力

フランスのO R S T O Mと共同して貨物船に表層水温の観測・通報を委託した。

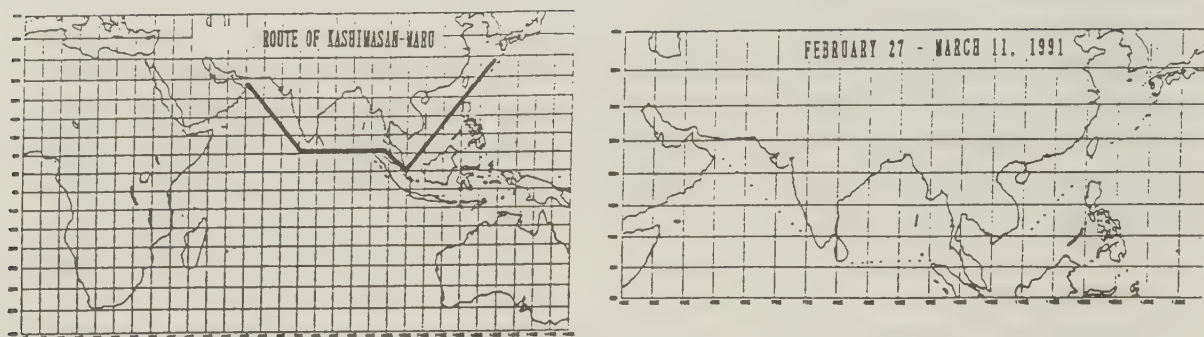


図1 「鹿島山丸」の航路(左)と表層水温観測点の例(右、1991年2～3月)。

Fig. 1 Route (left panel) and sampling locations (right, February/March in 1991) of Kashimasan Maru.

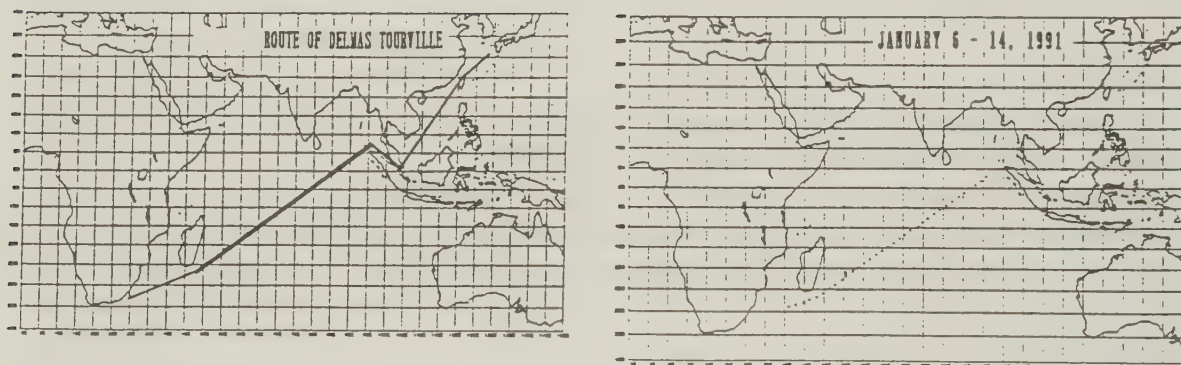


図2 「Delmas Tourville」の航路(左)と表層水温観測点の例(右、1991年1月)。

Fig. 2 Route (left panel) and sampling locations (right, January 1991) of Delmas Tourville.

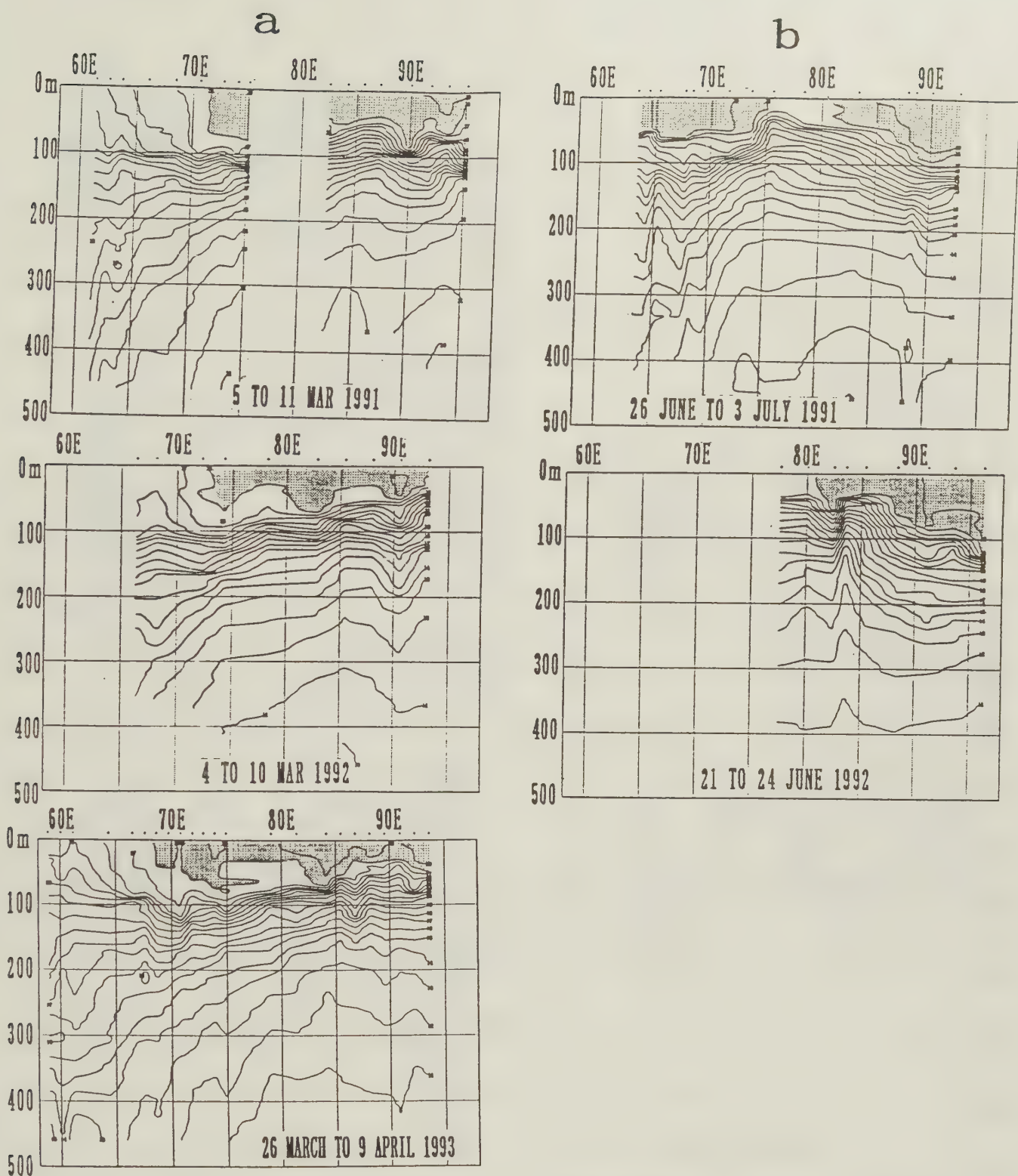
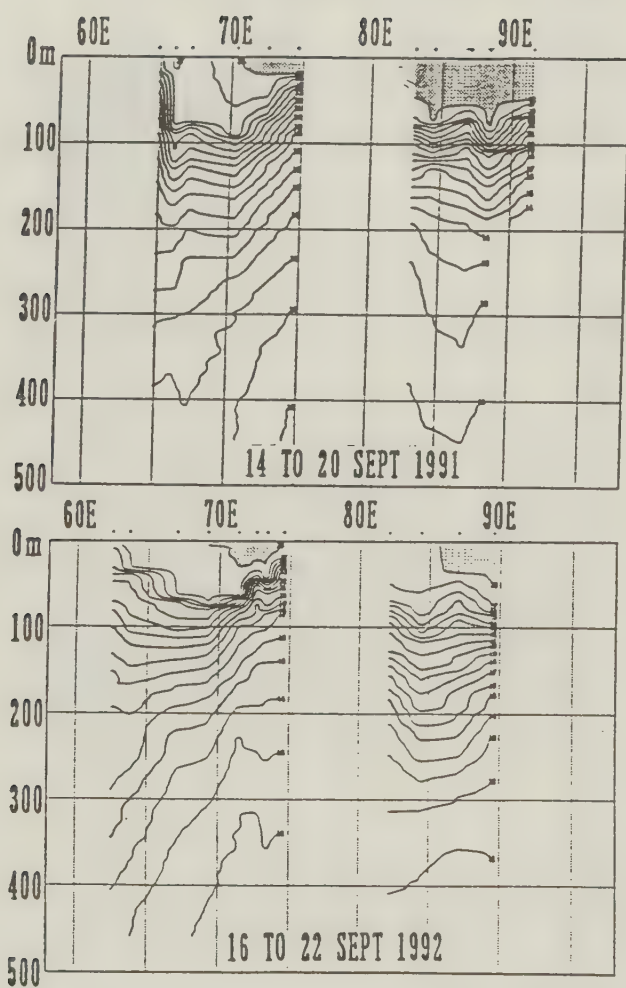


図3 1990～93年の「鹿島山丸」の航路に沿った表層水温断面(℃、a: 3月、b: 6月、c: 9月、d: 12月)。陰影部は28℃以上を示す。

Fig. 3 Vertical temperature sections(℃) along the route of Kashimasan Maru observed in years of 1990 through 1993 (a: March, b: June, c: September, d: December). Waters warmer than 28℃ are shaded.

c



d

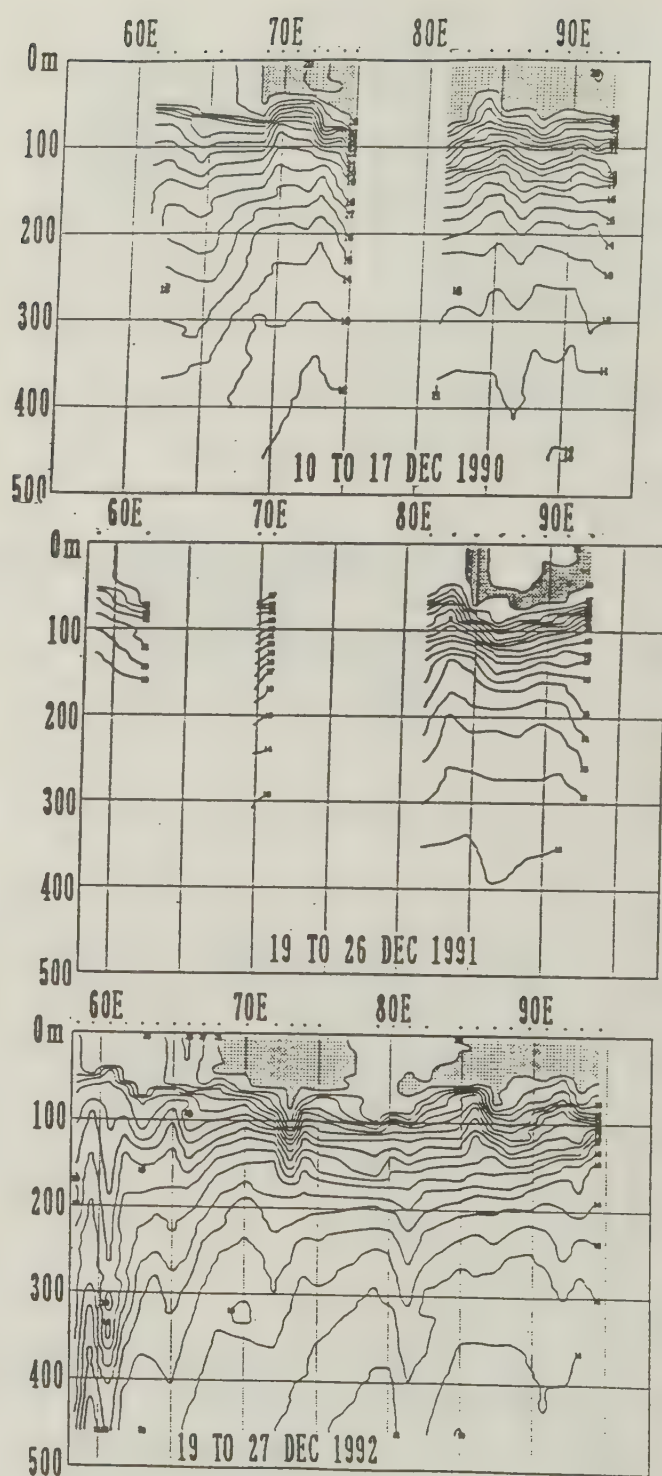


図3 (続き)

Fig. 3 (Continued)

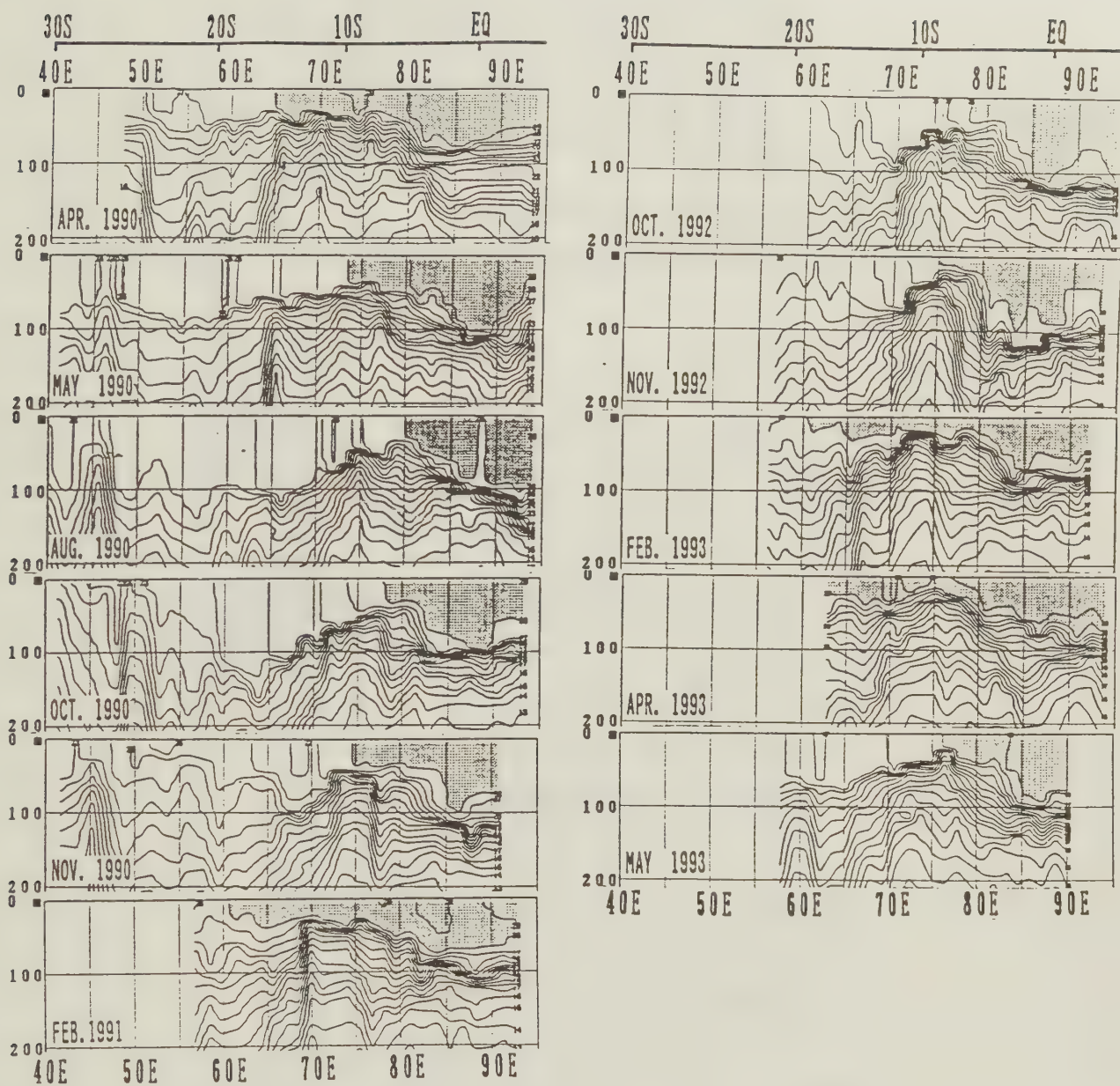


図4 「Delmas Tourville」の航路に沿った表層水温断面(℃)。陰影部は28℃以上を示す。

Fig. 4 Vertical temperature sections(℃) along the route of Delmas Tourville. Waters warmer than 28℃ are shaded.

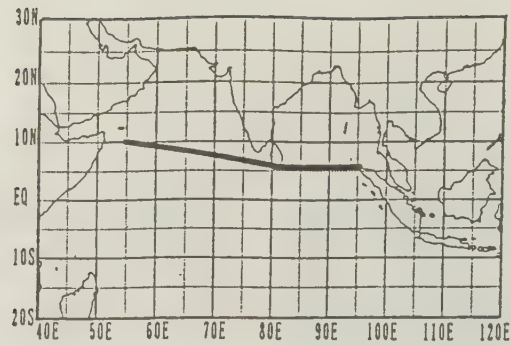


図5 20℃等温線深度の解析を行った線。

Fig. 5 A line along which the depth of 20℃ isotherm is analyzed.

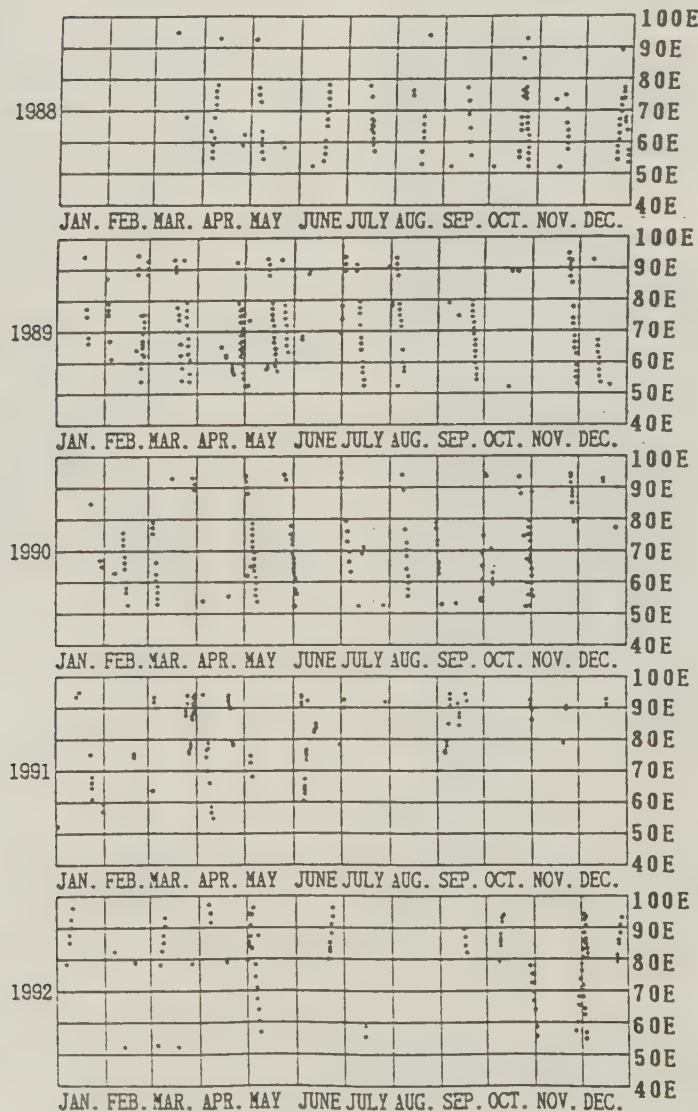


図6 図5の線に沿った1988～92年の観測点。

Fig. 4 Station locations along the line shown in Fig. 5 for the period 1988 through 1992.

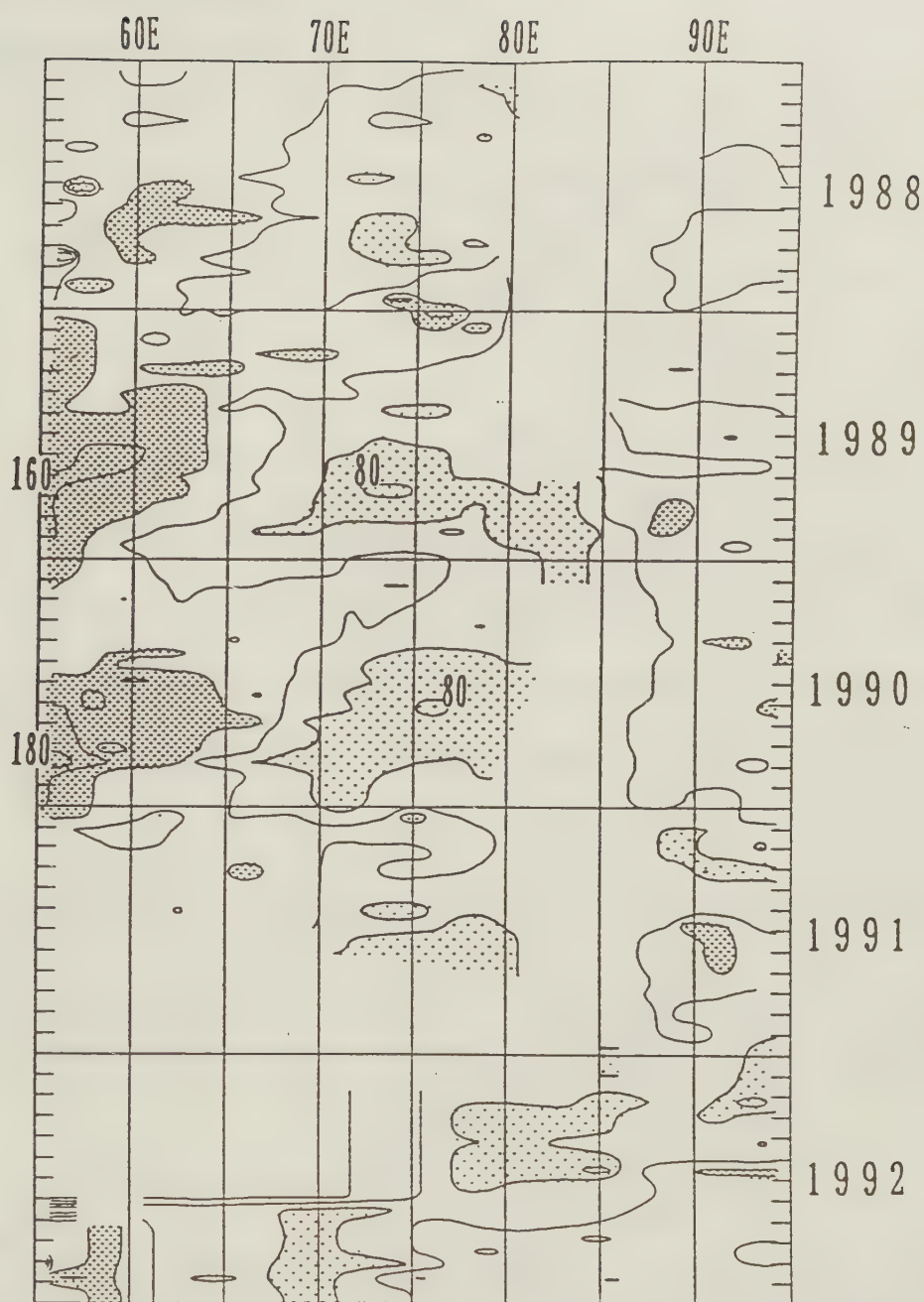


図7 図5の線に沿った20℃等温線深度の経度-時間変化(m)。等値線の間隔は20m、濃い陰影部は140m以深、薄い陰影部は100m以浅を示す。

Fig. 7 Longitude-time plot of the depth of 20°C isotherm(m) along the line shown in Fig. 5. Contour interval is 20m. Regions deeper than 140m are densely shaded and those shallower than 100m are lightly shaded.

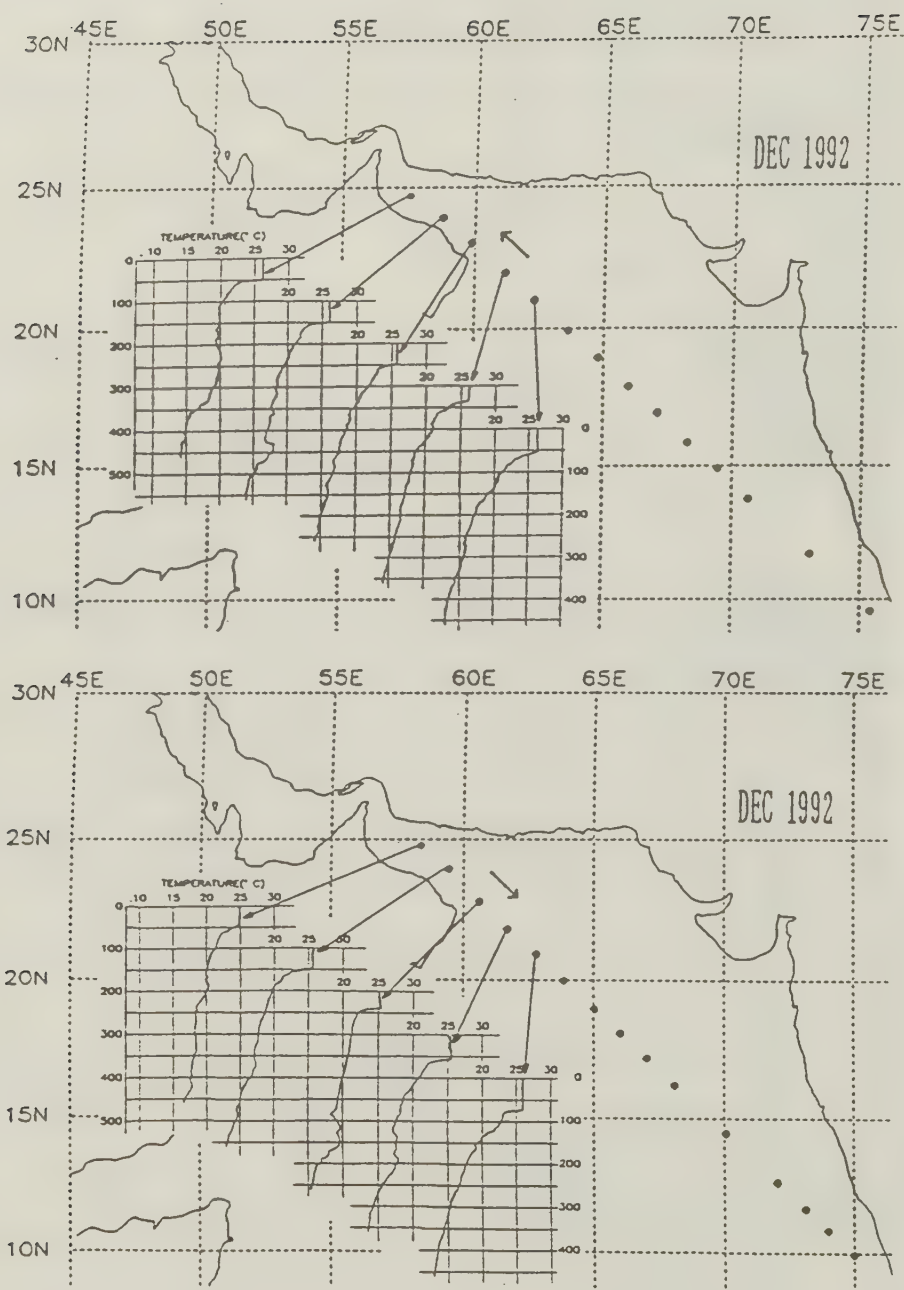


図8 「鹿島山丸」によるアラビア海オマーン湾沖で観測された水温逆転(1992年12月)。
 Fig. 8 Vertical temperature inversion observed by Kashimasan Maru off the Gulf of Oman in the Arabian Sea in December 1992.

1. 大気を媒体とした海陸相互作用及び長周期変動に関する観測・解析研究

Study on Air-Sea-Land Interactions and their Long Term Variations

(1) 海洋に関する観測研究

Observational Study on the Indian Ocean

② 海流循環に関する観測研究

Observation on Oceanic Current with Drifting Buoys

海上保安庁水路部海洋調査課

寄高博行、道田 豊、若松昭平

Ocean surveys Division,

Hydrographic Department,

Maritime Safety Agency

H. Yoritaka, Y. Michida, S. Wakamatsu

(Abstract) The purpose of this study is to clarify the ocean circulation, to estimate heat transport by the oceanic currents and to understand characteristics of their temporal(annual, interannual)/spatial variation in the Indian Ocean, particularly in the tropical region. For this purpose, Lagrangian observation of surface current has been made with satellite-tracked ARGOS drifters since 1989.

This paper describes the results of investigation for the fiscal year of 1992. 9 drifters were deployed in the eastern tropical Indian Ocean (off Sumatra Island) in November 1992. under cooperation with T/V 'Keiten-Maru' of the Kagoshima University.

The drifters deployed in 1991, drifted westward continuously with averaged velocity of 0.5 knots (maximum monthly mean velocity was 1.0-1.2 knots at 10°S on Jul.). One drifter turned to east at 5°S, 50°E on Nov. by Equatorial Counter Current formed in north-east monsoon season.

The drifters deployed in 1992, drifted westward same as for 1992. Maximum monthly averaged velocity was 0.9-1.0 knots at 15°S on Feb. and Mar.. Westward velocity of South Equatorial Current was large in the northern part of drifting region.

1. 研究目的

アジアモンスーンの年ごとの変動は、東南アジア地域や、日本をはじめとした周辺地域の気候変動に大きな影響を及ぼすだけでなく、大気大循環を介して地球規模の環境変化にも大きく影響する。また、アジアモンスーン活動の異常は西部太平洋熱帯域の海洋変動を引き起こし、これが太平洋規模で発生するエル・ニーニョの引き金となる可能性が強いという。このような気候変動に密接な関連を有する海洋の観測研究は、太平洋熱帯域においては国際共同で推進されている。しかし、アジアモンスーンの変動に重大な影響を及ぼすインド洋にあっては、海洋観測網の十分な展開がなされておらず、海洋データの蓄積が最も少ない海域となっている。

本研究の目的は、インド洋の特に熱帯域における海流循環と海流が担う熱輸送量、及びその時間的（季節・経年）、空間的変動特性を把握するとともに、得られたデータを海洋構造の変動が気候変動に対して果たす役割を解明するための研究に提供することにある。

2. 研究方法

インド洋熱帯域において、小型の表面海流追跡用漂流ブイを放流し、海流循環の実態を把握するとともに、ブイに取り付けた水温センサーのデータや、他の研究課題実行に際して取得される表層水温データと併せ、海流の担う熱輸送量を見積もる。また、ブイの漂流速度に及ぼす風圧流の効果を評価し、実際の海流の速度を高精度で求めるために、海上風や海面気圧の観測データの活用を図る。

平成4年度は、11月に鹿児島大学水産学部の「敬天丸」の協力を得て、スマトラ島西方沖の東部インド洋熱帯域にブイを放流するとともに、平成3年度に放流したブイの中、平成4年度も稼働を続けた4個のブイの追跡を行った。

3. 研究成果

(1) 平成3年度放流ブイ

図1に平成3年度に放流したブイの流跡を示す。平成3年5月にジャワ島南方沖に放流されたブイは、7月頃まで放流海域に滞留していたが、3つのブイが南赤道海流にのって、南緯10～27度の広い緯度に拡散して西進した。また滞留していた1つのブイが12月に、同様に南赤道海流にのった。これらのブイの西進速度は平均的には0.5ノット程度であったが、赤道寄りの2つのブイは平成4年7月に月平均で1～1.2ノットとかなり大きい速度で西進しており、南緯8～14度がこの時期の南赤道海流の中心に近いと想像される。4つのブイはその後も緯度を広げ、南からマダガスカルの南方沖、東方沖、ソマリアに到達した。最も赤道寄りのブイは平成4年11月に入ると反転し、東北東に向かった。11月は北東モンスーン期に入る月であり、赤道反流が発達して循環が形成されたと考えられる。平成2年12月にも同様の位置での反転があり（図2）、ソマリ海流の沖側では南赤道海流から赤道反流へとつながる循環となっていると考えられる。

(2) 平成4年度放流ブイ

図3に平成4年度に放流したブイの流跡を示す。平成4年11月にスマトラ島東方沖に放流されたブイは赤道を挟んで異なる様相を呈した。北半球の3つのブイは北進して島に漂着した。南半球の6つのブイは、1つを除いて南緯9～13度付近で西に向かう南赤道海流にのった。極寄りの3つのブイはほぼ同時に西に向かったにもかかわらず、月を追う毎に差が開いていった。月平均で最大流速は、中央域での2、3月の0.9～1ノットであった。4月は南西モンスーン期へ変化する月であり、各ブイに多少の影響がみられた。

4. 考察

漂流ブイの追跡によって、インド洋熱帯域の表層循環の平均像が浮かび上がってきた。まだ年変動を抽出できるほどデータ密度は大きくないが、季節による相違はとらえつつある。前年度から採用している球形の小型ブイは旧来のものよりも稼働期間が長くなった。これまでは平均約7カ月の稼働であったが、前年度に放流したブイは、6個中4個が1年以上、またそのうち3個が1年半稼働した。これによりインド洋熱帯域の表層循環をより長くとらえることができるようになり、循環像の把握により有効となる。

5. 成果の発表

①口頭発表

発表者名	発表題名	発表場所等
Y.Michida,H,Ishii,	Surface current field in the	International Symposium

6. 関係国との協力

平成4年度にはインド国立海洋研究所を訪問し、インド洋熱帯域における観測の現状、データ解析の結果などの情報交換を行った。同研究所で実施している"Indian TOGA"で使用されている漂流ブイがWOCE/TOGAのSVP（表層海流計画）仕様であることを確認し、現在データの共同解析・研究を検討中である。

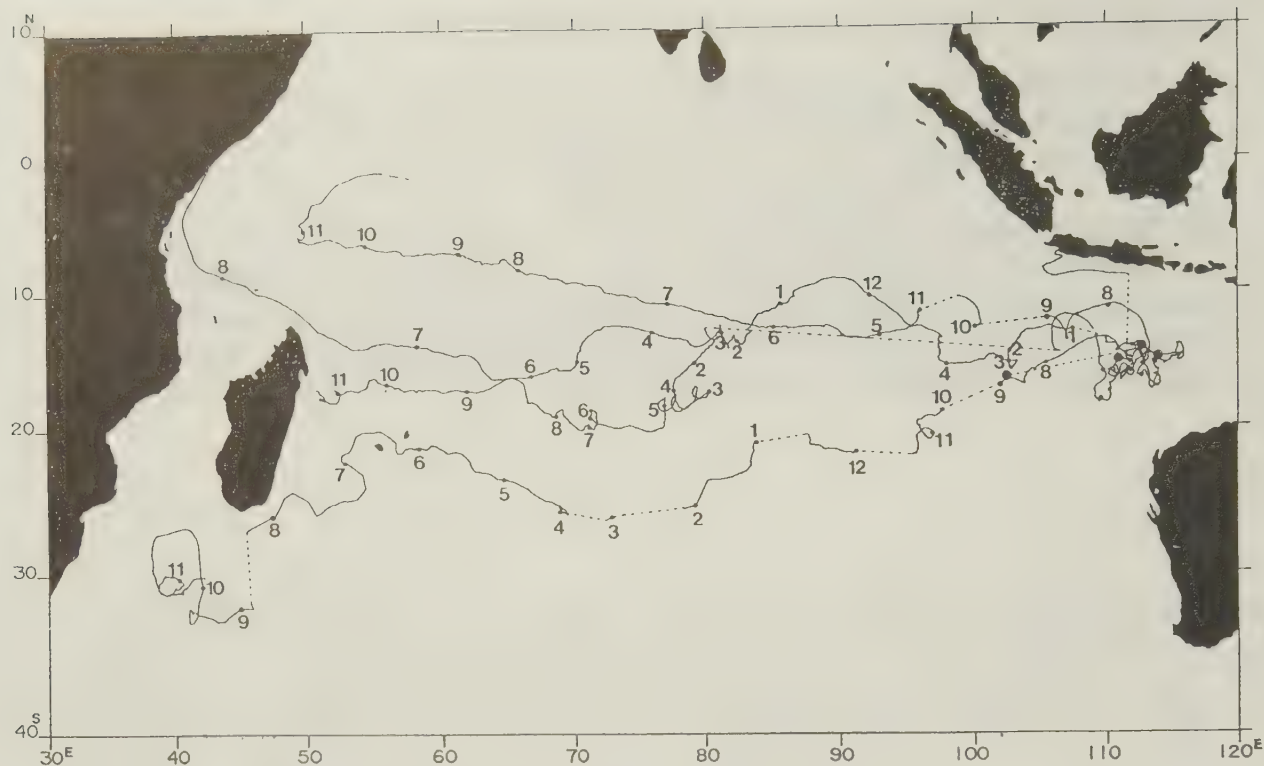


図 1. 平成 3 年に投入した漂流ブイの流跡。大きな黒丸は放流地点を、小さな黒丸は添字の数字の月初めの位置を示す。

Fig. 1 Trajectories of the drifters deployed in 1991. Large circles show the deployed points, small circles show the beginning of each month that is indicated with small numbers.

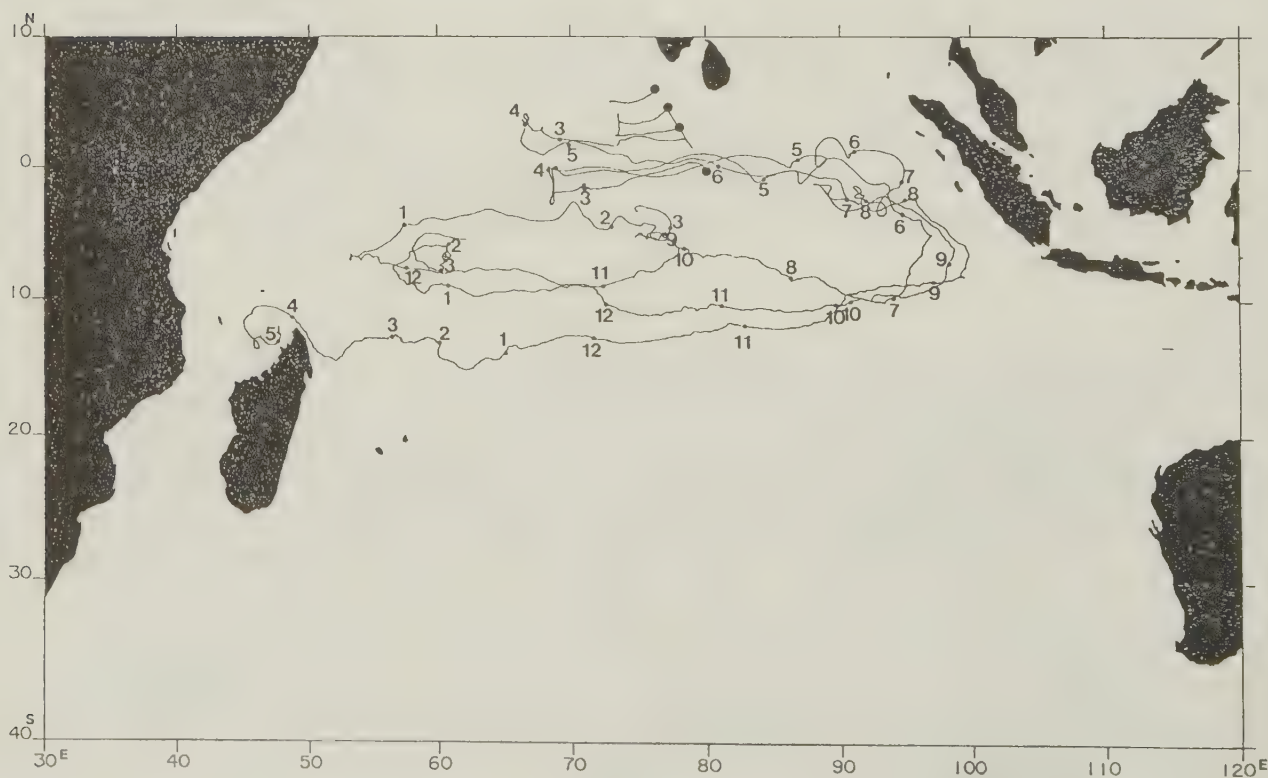


図 2. 図 1 に同じ。ただし平成 2 年に投入した漂流ブイの流跡。

Fig. 2 Same as Fig. 1, except for the drifters deployed in 1990.

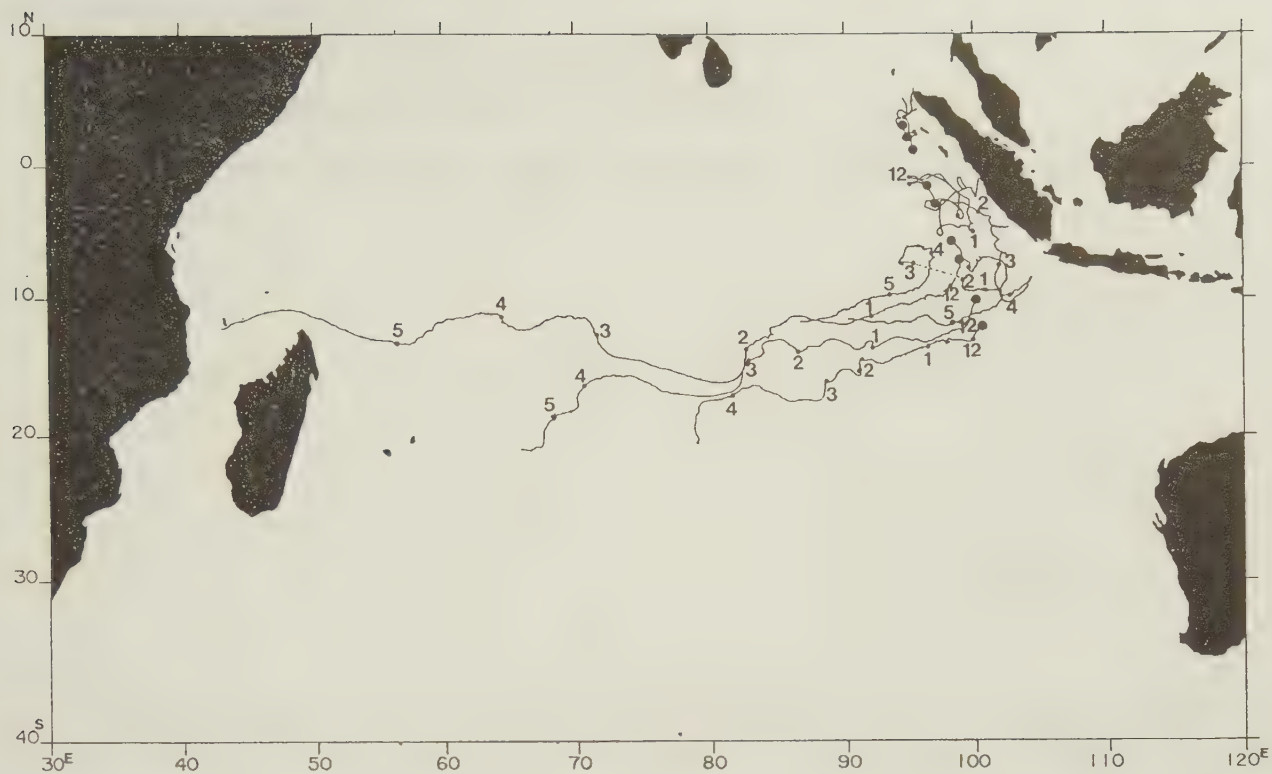


図3. 図1に同じ。ただし平成4年に投入した漂流ブイの流跡。
 Fig. 2 Same as Fig. 1, except for the drifters deployed in 1992.

1. 大気を媒体とした海陸相互作用及び長周期変動に関する観測・解析研究
Study on Air-Sea-Land Interactions and their Long Term Variations

(1) 海洋に関する観測研究

Observational Study on the Indian Ocean

③ 海洋データの標準化及び海洋データ交換の推進

Standardization of Oceanic Data and Promotion of Exchange of Oceanic Data and Information

海上保安庁水路部海洋情報課
(日本海洋データセンター)
谷 伸, 馬場典夫

Japan Oceanographic Data Center
Hydrographic Department
Maritime Safety Agency
Shin Tani, Norio Baba

Abstract

The purpose of study is to provide a sufficient data set and timely information for promoting the JEXAM study. In order to suffice this goal, four sub-theme has been established; data standardization and quality control of JEXAM data; collection of existing data from other nations; establishment of international on-line network system for data and information exchange; and establishment of information exchange system.

A data management policy was established, by which PIs of JEXAM study were obliged to submit their data to JODC one or two years after collection. The submitted data are restricted to the public for additional one year at the JODC. The data catalog for JEXAM data can be searched at the JEXAM BBS on the JOIDES.

The International Workshop on the Oceanographic Data Management was held at JODC last year, with the participation of data managers from the region. Detailed description of the national data management at India and Indonesia was obtained from the participants.

The JODC Online Information and Data Exchange Service (JOIDES) was added with international menu and tested internationally successfully. It was awarded the Supreme System of the Year 1992.

1. 研究目的

本研究は、「アジアモンスーン機構に関する研究」(以降JEXAM)及びインド洋に関する調査研究の円滑かつ効果的な実施を図るため、当該研究に携わる研究者に対し、利用可能な最良のデータセット及び調査に係る情報を提供するためのものである。

この目的を達成するために、JEXAMの一研究項目である「海洋に関する観測研究」において取得される水温等の海洋データの標準化を行い、研究者間のデータ相互利用の円滑化を図る。また、JEXAMの各研究における基礎資料の充実を図るため、インド洋及び周辺海域における既存の海洋データ及び関連情報の収集を行う。さらに、得られたデータにより統計値の信頼度を増すことによってデータ品質管理の精度向上を図る。

一方、これらのデータ管理活動のほかに、情報流通の迅速化を図るため、データの管理状況及び海洋調査計画等に関する情報のオンライン入出力・検索が可能なデータベースを構築する。さらに、データ・情

報提供に関する各国の協力を得やすくするため、各国国立海洋データセンター等とJODCとの間に海洋データ・情報交換のためのデータ情報ネットワークシステムを構築し、国内から国外まで一貫した海洋データ・情報交換のためのシステムを確立し、JEXAMにおける海洋データの迅速・容易かつ円滑な利用、さらに、その他の地球環境関係の各種プロジェクトでの有効利用に資するものである。

2. 研究方法

(1) データの標準化、品質管理処理およびデータベースの構築

JEXAMの「海洋に関する観測的研究」で取得された海洋表層水温、海流データ及び漂流ブイデータが、本プロジェクトで円滑かつ迅速に活用されるには、データの標準化及びデータの品質管理処理がなされている必要があり、また、データ利用を簡便に行うためには、これらのデータについてデータベース化されていることが不可欠であるため、データの標準化処理からデータベース化までの一貫したデータ処理システムを構築する。

(2) 各国の海洋調査状況、調査結果の管理状況調査及び海洋データの収集

JEXAMの「海洋に関する観測研究」の主たる対象海域であるインド洋及びその周辺海域は、周囲に海洋先進国が少ないこともあり、海洋調査自体が我が国周辺に比べ相当少ないうえ、データの収集・管理体制も十分に整備されているとはいえない。現在、JODCで把握している当該海域のデータ量は他海域に比べて著しく少なく、本プロジェクトの各研究における基礎資料として十分な量とは言えない。また、本プロジェクトで取得された海洋データの品質管理処理においても有意な処理結果を得るには、十分な歴史データが必要不可欠である。このため、当該海域における各国の海洋調査状況、データの管理状況の調査及び海洋データの収集を行う。

(3) 国際データ交換ネットワークの構築

JEXAM該当海域のデータを保有する各国海洋データセンターからデータ管理状況、データ提供への協力を得るためのインセンティブとして、各国のデータセンターあるいはそれに準ずる機関との間に国際データ通信によるネットワークシステムを構築し、我が国が構築する各種情報及びデータに係るデータベースにアクセスできる体制を構築する。

(4) 研究プロジェクト情報交換システムの構築

本研究プロジェクトを円滑・効果的に推進するには、各研究の調査計画、調査結果等の情報が密にかつ迅速に交換される必要がある。このため、これらの情報を研究プロジェクト関係者が卓上から簡便に交換・検索できるシステムを構築する。

3. 研究成果

(1) データの標準化、品質管理処理およびデータベースの構築

JEXAMの「海洋に関する観測的研究」で取得されたデータについて、平成4年度までにJODCで受領したデータを表1及び図1に示す。気象庁から受領したデータセットについては、気象庁の共同研究機関

であるフランスのORSTOMから入手されたデータも含まれている。

これらのデータに関する情報は、パソコン通信サービスJOIDES（ジョイデス;JODC Online Information & Data Exchange Service）の「アジアモンスーン掲示板」の「データカタログ」で検索することができ、本研究のデータ公開方針については、「原則として、1、2年の期間をおいてJODCに出す。JODCに送ってから1年はJEXAMのデータとし、JEXAM関係者以外への公開には提供者の許可が必要とする。それ以降は一般ディレクトリに落として条件を付けずに公開する。」（平成4年度第1回研究検討委員会議事録）に従って取り扱われることとなった。

(2) 各国の海洋調査状況、調査結果の管理状況調査及び海洋データの交換

①各国の海洋調査状況、調査結果の管理状況調査

平成4年11月10～13日、JODC主催により「海洋データ管理に関する国際ワークショップ」を開催し、インド、インドネシア、韓国、タイ、ベトナム、マレーシア及び日本の海洋データ管理専門家、国際機関の専門家及び我が国の海洋研究者を交えて、アジア近隣諸国の海洋データ管理活動の強化策について協議した。このワークショップに併せて、JEXAM調査対象海域に関係の深いインドおよびインドネシア両国の海洋調査状況、調査結果の管理状況に関する調査を行った。この結果、インドについては前年度調査結果とほぼ同様であったため、以下にインドネシアにおける地球規模の変動に関連する海洋研究を中心に記述する。

A. 現状

(a) 海洋調査

イ. 潮汐及び潮汐現象に関するプロジェクト

アセアン・オーストラリア共同プログラムの下で、アセアン地域の潮汐現象の包括的な研究を目的として、地域の海洋ダイナミクスプロジェクトが1994年まで実施されている。このプロジェクトでは、オーストラリア政府からの資金・技術援助により、アセアン各国で約25箇所の験潮所が稼動しており、インドネシアには、西インドネシア群島の7箇所、Lhok Seumawe、Pasir Panjang、Terempa、Pulau Pari(Jakarta)、Pontianak、Tarakan、Banyuwangi（図2）の験潮所があり、インドネシア海軍水路海洋局（DISHIDROS）と共同してインドネシア科学研究所海洋研究開発センター（RDCO）により実施されている。このほか、国立測量地図調整庁（BAKOSURTANAL）が、インドネシア群島中の16箇所の験潮所（図2）を運用している。

BAKOSURTANALの行う潮汐研究の主たる目的は、インドネシア全体の測地網の基礎として平均水面を決定するためであるが、ハワイのTOGA潮位センターの協力支援により地球温暖化による海面上昇の研究も実施している。

ロ. JADE（ジャワ・オーストラリア海洋ダイナミクス実験）

JADEプロジェクトはインドネシアとフランスの共同プロジェクトで、インドネシア科学研究所海洋研究開発センター（RDCO）、インドネシア海軍水路海洋局（DISHIDROS）及び技術評価応用庁(BPPT)、フランスのパリ第六大学の海洋力学気象研究所（LODYC）により実施されている。

このプロジェクトの下で海洋調査航海が1989年8月と9月にスマトラの南西及びジャワの南からサンパワにかけてのインド洋で、フランスのTAAF（フランス南極研究所）の調査船「Marion

Dufresne」により実施された。一連の流速計がRoti島の南西及び東に設置され、その間、67箇所の海洋ステーションが使用された(図2)。

研究の第一目的は、インドネシア通過流の強さと変動を評価すること、そして太平洋からインド洋への通過の間の水塊特性の混合による影響を学ぶことにある。

係留した流速計は、1年間の観測の後、1990年9月にフランスとインドネシアの海洋科学者によってインドネシアの観測船「Baruna Jaya I」を用いて回収され、データは現在フランスで処理中である。

(b) 気象研究

イ. 気象の分野においては、気象地球物理局（BMG）が国内の気象研究の管理、評価、実施を担当し気象情報やサービスを提供している。国際機関において大気、海洋の調査がBMG、国立航空宇宙研究所（LAPAN）、技術評価応用庁（BPPT）、インドネシア科学研究所海洋研究開発センター（RDCO）、国立測量地図調整庁（BAKOSURTANAL）、幾つかの大学などの研究者によって実施されている。

ロ. 世界気象監視（WWW）にインドネシアが寄与するため、また国内の計画の要請を満たすため、表2に示した気象観測所が設置されている。

定時通報観測所は現在毎日24時間運用しており、グリニッジ標準時の00:00と12:00に1回または2回通報している。ラジオゾンテ観測と高層風観測は高層気象観測所が実施している。

毎日20から30点の海上気象データがインドネシアの近海を航行している船舶から送られ、毎日の天気予報と季節予報を作成するための参考資料として解析されている。データはフロッピーディスクの形式で編集されている。

3つの通信システムが航空気象通報のために使用されている。これは航空管制通信の総責任者が監督している。一般通信は通信の総責任者が監督し、特別気象通信ネットワークは気象地球物理局（BMG）の総責任者が監督している。後者は3つのサブシステムから成っており、その一つは、単側波無線電話（SSB）を用いた地域データの収集及び配布のための地域通信サブシステムである。地域の観測所からのデータはサブ地域センター及び地域センターで集められる。二つめのサブシステムは、サブ地域センター、副センター及びジャカルタの国立センター相互間のデータ交換のために使われる50bpsの回線速度の地域間テレックスサブシステムである。そして三つめのサブシステムは、国際的視野からジャカルターシンガポール及びジャカルターメルボルン間の全地球気象通信システム（GTS）と接続することによって他の気象センターとのデータ交換を行なうための国際テレックスサブシステムである。この回線速度は75bpsから9600bpsに変更された。他のデータ配布システムは通常のラジオ周波数による放送である。

メインフレームコンピュータは旧来のCII-HB 64/60のグレードアップとして導入されたDPS-7000である。気候データを計算するために、CLICOMシステムが導入され、改善されることとなっている。毎月、地域観測所からのCLIMATメッセージがハードコピーの形でWWWに送られている。1990年11月からはGTS回線も用いられている。また、長期及び季節予報、特にENSOデータを用いた変動予報が求められており、数値天気予報モデルが現在開発されているところである。

B. 将来計画

(a) 海洋調査

イ. 潮汐及び潮汐現象

潮汐に関するアセアン・オーストラリア共同プロジェクトは流速計測プロジェクトに拡大され、四基の係留系流速計がマラッカ海峡、シンガポール海峡、南シナ海およびマカッサル海峡に設置される予定で、アセアンとオーストラリアの調査船により流速観測が実施される予定である。超音波ドップラー流速計（ADCP）及びCTD観測もまた、係留系流速計での観測を補完するためにこれらの船で行われる予定である。

国立測量地図調整庁（BAKOSURTANAL）の験潮所での観測は少なくとも今世紀の終わりまで続けられる予定で、インドネシア海軍水路海洋局（DISHIDROS）と住民環境省は、地球規模の海面上昇及びARLINDO研究のために更に12箇所の験潮所を設置する予定である。

ロ. JADE計画

フランス・インドネシア共同によるジャワ・オーストラリア力学実験（JADE）プロジェクトは1992年2月まで続けられる予定で、ジャワ・スマトラとオーストラリア間のインド洋で実施されたJADE89、90と同数の観測点が設けられる予定である。調査船「Marion Dufresne」と「Baruna Java I」の両船を用いてCTDとADCP観測が実施される予定で、両船の観測は係留系流速計での観測と潮汐観測によって補完される。流速計の設置地点がJADE90の2箇所から、JADE92にはLombok海峡、Alas海峡、Sawu海、Roti海峡の4箇所に増加される予定で、これら全ての流速計は、海峡の水位とARLINDOの強さと変動との関係を監視することが目的とされている。

ハ. 米国・インドネシア協力海洋・大気科学研究計画

米国、インドネシア両政府は、インドネシア海域で実施できる海洋・大気科学研究計画における協力の可能性を現在検討している。

ニ. 便宜供与船によるXBT観測

表面水温（SST）異常、海面大気圧（SSP）及び躍層深度（DOT）を監視することを目的として、現在インドネシア群島内にある約30の港を8隻の新型大形客船で結んでいるインドネシア海運公社（PELNI）の協力を得て、インドネシア海域内のXBT観測ラインを設置する計画が進行している（表3）。

(b) 気象研究

大気研究活動の分野では、国立航空宇宙研究所（LAPAN）と米国海洋大気庁（NOAA）が共同調査を実施する予定で、ウインドプロファイリングレーダーが1991年末にBiakに設置される予定である。LAPANが計画中のこの他の協力の主要なものとしては、ラジオゾンテ観測、風探知レーダーや境界層レーダーを使用して日本の京都大学と行なうKelvin風とRossby重力風の研究があり、1992年又は1993年までに、これらの機器全てをスラバヤとバンドンに設置されることが期待されている。

また、BMGとLAPANは、長期干ばつの監視、予報業務を支援することを目的として、NOAA衛星

データからSSTや雲量データを解析することも計画している。

C. 海洋データの管理状況

インドネシアの政府機関によって集められたデータの種類を表4に示す。

このうち、インドネシア科学研究所海洋研究開発センター（RDCO）が管理するデータは、海象観測データ・潮汐データ・海洋汚染データ・海洋生物データの4つに大別される。これらのうち海象観測データ及び潮汐データについての概略は次のとおりである。

(a) 海象観測データ

1969年からインドネシア海域の海洋データ収集のために、50回ほどの航海が行われてきており、これらの航海での観測点は約1640点にのぼる。RDCOでは、このデータを管理するためにパソコンベースの情報システムを開発した。このシステムではデータ保管にdBaseIII plusソフトウェアが、データ解析にはソフトウェアパッケージが使用されている。RDCOが管理するデータはこの研究所による航海によるもののみで、最近の海象観測データベースは、調査船「Baruna Jaya」によって収集されたデータである。新しい海洋調査船が1989年に就航し、9回の航海で観測点の数は合計で297点になった（図3）。1969年から収集されているデータは品質管理を行なっている過程にある。

(b) 潮汐データ

潮汐データは西インドネシア群島の7地点で収集されているもので、1987年から1994年まで観測される予定である。データは、毎時潮高値がENDECOとLS-A71計器によって記録され、南オーストラリアのフリントダース大学（FUSA）のアセアン潮汐データバンクに送られている。

②海洋データの交換

本プロジェクト調査対象海域に関係するデータセットについて、各国国立海洋データセンター間のチャンネルである国際海洋データ・情報交換システムIODEを通じ、平成4年度迄に入手したデータセットを表5に示す。

また、インド洋に関しては、平成3年度に明らかになったように多くのデータがロシア及びインドの国立海洋データセンターにより保有されていることが明らかとなったため、引き続いて、両データセンターに対しデータの照会を行なっているところである。このうちロシアについては、最近の政変、通信事情等のため連絡を取ることも自体難しく、また、インドについては、3-(2)-①に述べたワークショップの参加者とデータの入手可能性について協議したが、公海上のデータは公開とはいいながらデータアクセスのための具体的方法については示されなかった。しかしながら、ロシアのデータについては、IOCのデータ・アーケオロジー・プロジェクトにより米国が中心となって積極的に発掘及びデジタル化を進めており、近い将来に本研究に利用可能となるものと期待できる。

(3) 国際データ交換ネットワークの構築

平成3年度に行った小型計算機間のデータ転送のための概念設計を基に、JOIDES上に各国データセンター用のシステムを構築した。

JOIDESは民間の電子メールサービス上に構築されており、ホストの管理はサービスを提供している

業者が管理しているため、24時間利用可能であり、JODCの勤務時間に関係なくデータセンター間の国際的なデータ・情報交換が可能である。

さらに、アクセスポイントは海外にも約20ヶ国に設置されており、これらのアクセスポイントからはJOIDESの機能を全て利用できるほか、JOIDESでは、通信の国際規格である「X.400」をサポートしているため、40ヶ国を超える国々で運営されている電子メールサービスと相互接続が可能であり、JOIDESとの電子メール通信を行うことが可能である。

このデータセンター用のシステムについては、1992年7月14～17日まで英国ビッドストンの英国海洋データセンターで開催された「データ管理の技術的側面に関する専門家会合（第5回）」において、データセンターが運営するユニークな情報管理システムとして、またインターネット等に依らない柔軟な汎用データ交換システムとして、さらにはメニューサポート（アクセス方法により自動的に和英メニューが切り替わる）により電子メールシステムに通曉しなくても操作できる簡便さもデータ管理専門家の大きな注目を集めた。また、1992年9月28日～10月9日にJODC主催で行った「WESTPAC海洋データ管理研修」でJOIDESのオペレーションに関する研修を行った。さらに、各国の海洋データセンターが集まった1992年12月1～9日、パリで開催された国際海洋データ・情報交換システム（IODE）第14回会議で紹介を行い、会議出席者の大きな注目を集めた。

JOIDESは、全て民間の付加価値通信網（VAN）上に構築しており、交換するデータ・情報は文字データに限っているため、ユーザが保有する計算機、電話回線を利用することができ、また、海外からもVANが保有する海外アクセスポイントを利用できるため、JOIDESを利用するために国際電話をかける必要がなく、管理者の大規模な設備投資なしにユーザ負担の少ない利用環境を実現している。

このような先進性が高く評価され、JOIDESは、総務庁、通産省など8省庁が中心となって実施している情報化月間において、平成4年度の優秀情報処理システムとして表彰された。

JOIDESでは、通常の電話回線を使用しているため、保証されている最大通信速度は実用的には2400bpsであり、データの交換を行う場合、実用的には1MBが限度である。今後、JOIDESでのデータ交換をオペレーショナルに実現するためには、データ通信に必要な技術であるデータフロー制御などのほか、ユーザの端末で動作できるデータの圧縮手法についても検討する必要がある。

(4) 研究プロジェクト情報交換システムの構築

平成3年度に、JEXAMにおける海洋情報の国内外での円滑な交換、流通を実現するため、日本海洋データセンターで設置しているパソコン通信による簡易情報交換システムであるJOIDESにJEXAMのための電子掲示板および電子メール等の機能を整備し提供している。

平成4年度におけるJEXAM関係者のJOIDES使用状況を表6に示す。

表1 本プロジェクトの「海洋に関する研究」で取得されたデータ

機関名：遠洋水産研究所		受領年月日：1992/7/8			
データ種	船 名	期 間	海 域		測点数
DBT	チャーター	90/11/25～91/05/08	00-29N～09-47N	048-42E～068-53E	105
DBT	チャーター	90/12/22～91/02/24	02-56N～07-55N	060-10E～068-48E	58
DBT	チャーター	91/04/15～91/07/01	43-10S～40-49S	024-21E～035-19E	15
DBT	チャーター	91/10/02～91/12/26	18-44S～00-38N	008-20E～016-46E	12
DBT	チャーター	91/10/04～92/01/11	05-48S～06-23N	053-41E～068-17E	67
XBT	船川丸	91/10/31～91/11/09	13-57S～05-00N	094-12E～108-52E	36
XBT	愛知丸	91/11/19～91/11/22	09-26S～05-00N	092-58E～093-44E	24
XBT	えひめ丸	91/11/02～91/11/06	10-00S～05-01N	091-19E～093-08E	32
CTD	照洋丸	90/11/19～91/01/09	34-01S～12-57S	108-59E～121-09E	115
XBT	進洋丸	91/06/25～91/06/28	08-00S～05-30N	094-04E～094-53E	28
機関名：気象庁		受領年月日：1993/3/16			
データ種	船 名	期 間	海 域		測点数
XBT	鹿島山丸	90/10/07～90/11/08	05-34N～23-14N	060-06E～117-00E	44
XBT	鹿島山丸	90/11/21～90/12/25	05-37N～23-08N	060-09E～120-25E	63
XBT	鹿島山丸	91/01/07～91/02/10	05-47N～22-57N	060-27E～120-28E	47
XBT	鹿島山丸	91/02/27～91/04/03	05-40N～22-08N	061-21E～120-07E	44
XBT	鹿島山丸	91/06/03～91/07/10	05-26N～21-22N	061-34E～119-04E	39
XBT	鹿島山丸	91/07/24～91/08/26	05-45N～19-28N	064-05E～118-01E	17
XBT	鹿島山丸	91/09/09～91/10/03	05-55N～18-59N	064-52E～115-29E	15
XBT	鹿島山丸	91/10/25～91/12/01	05-38N～23-59N	059-34E～121-04E	44
XBT	鹿島山丸	91/12/13～92/01/11	05-40N～24-22N	058-43E～120-47E	32
XBT	鹿島山丸	92/01/26～92/03/21	05-47N～33-03N	064-05E～137-71E	17
XBT	鹿島山丸	92/04/03～92/05/10	05-39N～22-33N	060-28E～114-95E	22
XBT	鹿島山丸	92/05/26～92/07/01	05-02N～24-14N	057-14E～120-18E	22
XBT	Delmas Tourville	90/02/25～90/05/24	28-28S～05-07N	040-47E～093-53E	60
XBT	Delmas Tourville	90/05/25～90/08/23	28-49S～05-10N	041-05E～093-58E	71
XBT	Delmas Tourville	90/11/27～91/02/21	28-57S～04-59N	039-54E～093-48E	69
XBT	Delmas Tourville	91/02/22～91/06/02	29-10S～00-26N	039-19E～086-56E	24

表2 インドネシアにおける気象観測所

観測所のタイプ	観測所の数
気象通報観測所	112箇所
定時通報観測所	60箇所
臨時通報観測所	52箇所
高層気象観測所	65箇所
ラジオゾンテ観測所	13箇所
高層風・測風気球観測所	6箇所
一般気候観測所	16箇所
特別気候観測所	89箇所
蒸発観測所	157箇所
雨量観測所	4609箇所

表3 XBT観測計画ライン

No.	観測計画ライン
1.	Jakarta-Medan
2.	Jakarta-Padang
3.	Jakarta-Ujung Pandang-Bitung
4.	Jakarta-Sorong
5.	Jakarta-Kupang
6.	Ambon-Kupang
7.	Bitung-Biak

表4 インドネシアにおける海洋調査関係機関と収集データ

機 関	データ項目
インドネシア科学研究所海洋研究開発センター-LIPI (RDCO)	物理、化学および生物学
インドネシア海軍水路海洋局 (DISHIDROS)	潮汐
海洋漁業調査研究所 (BL)	音響データを含む漁業
技術評価応用庁 (BPPT)	海洋学
国立測量地図調整庁 (BAKOSURTANAL)	潮汐およびリモートセンシング
国立航空宇宙研究所 (LAPAN)	海洋学 (衛星を使った)
気象地球物理局 (BMG)	気象学
海洋地質研究所 (MGI)	海洋地質・地球物理学

表5 IODEにより入手された本プロジェクト該当海域に関するデータセット

データセット名	Tropical Ocean Global Atmosphere(TOGA) Meteorological and Oceanographic Data Sets for 1985 and 1986
媒体・数量	CD-ROM 1枚
データ包括海域	熱帯・亜熱帯域
内容	このデータセットは、TOGAプロジェクトで取得された1985年、1986年のデータで、内訳は次のとおりである。 1. United Kingdom Meteorological Office Ship(Sureface) Data 2. Marine Environmental Data Service Drifting Buoy Data 3. University of Hawaii Sea Level Data 4. Pacific Marine Environmental Laboratory(PMEL) Moored Current Meter Data 5. PMEL Moored Temperature Data 6. PMEL Island Data 7. Institute Francais de Recherche pour l'exploitation de la Mer Ship 8. European Center for Medium-Range Weather Forcasts(ECMWF) Surface Meteorological Fields 9. Climate Analysis Center Sea Surface Temperature Field 10. Florida state Unversity Surface Pseudo-Stress Field 11. Institut Francais de Recherche Scientifique pour le Developpement en Cooperation Surface Pseudo-Stress Field
データセット名	Marine Environmental Data Service Drifting Buoy Data
媒体・数量	磁気テープ 9巻
データ包括海域	太平洋・インド洋
内容	漂流ブイのRNODCであるカナダの海洋データセンターMEDSが保有している1980年～1991年までの太平洋及びインド洋における1774個の漂流ブイデータ。
データセット名	Global Ocean Temperature and Salinity Profiles
媒体・数量	CD-ROM 2枚
データ包括海域	全球
内容	米国国立海洋データセンターの保有する1900年～1991年1月までの水温塩分データ。

表6 JEXAM関係者の平成4年度におけるJOIDESの使用状況

	Apr.	May	June	July	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	Mar.
STORAGE	810	837	690	651	651	861	2418	2340	2462	2480	2240	2480
SESSION	17106	16335	116592	53432	60239	44298	32022	47596	24399	80958	46508	21939

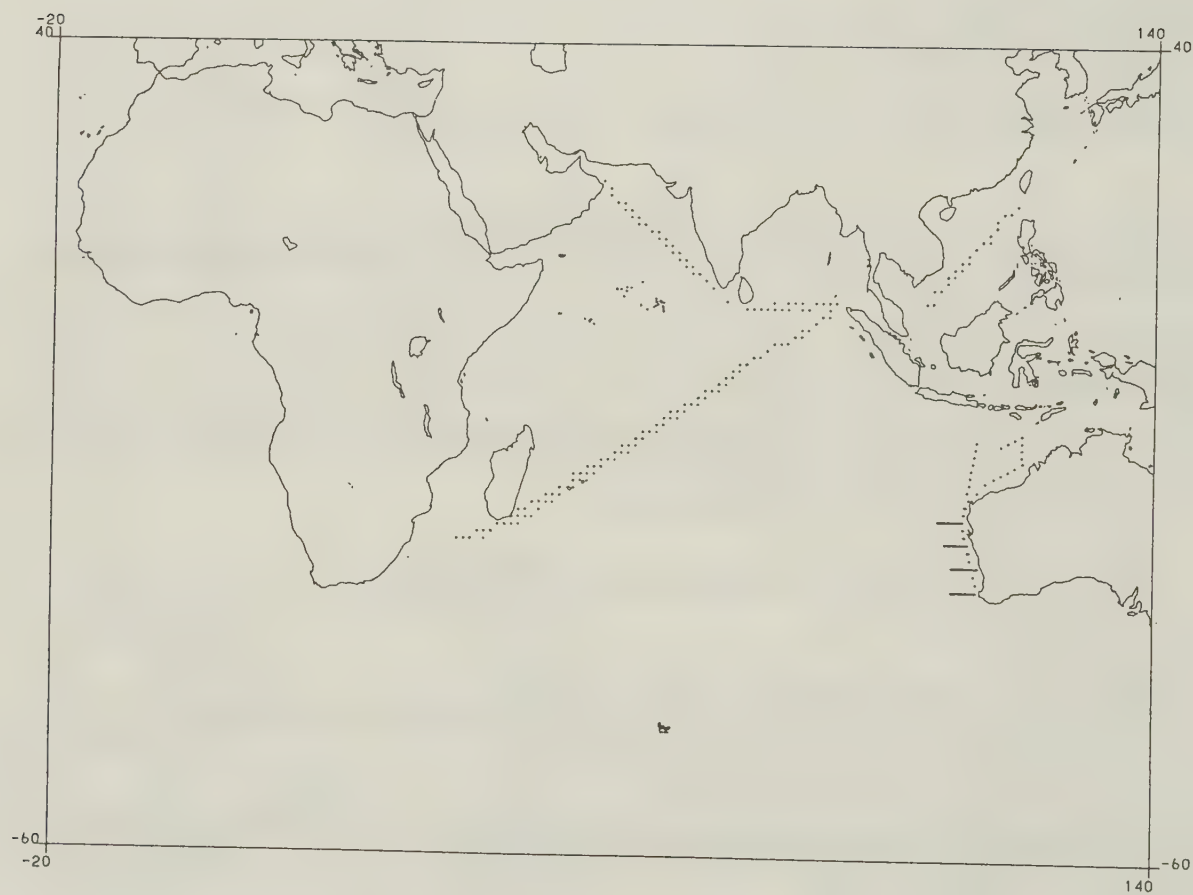


図1-1 本プロジェクトの「海洋に関する研究」で取得されたデータの測点図（1990年観測分）

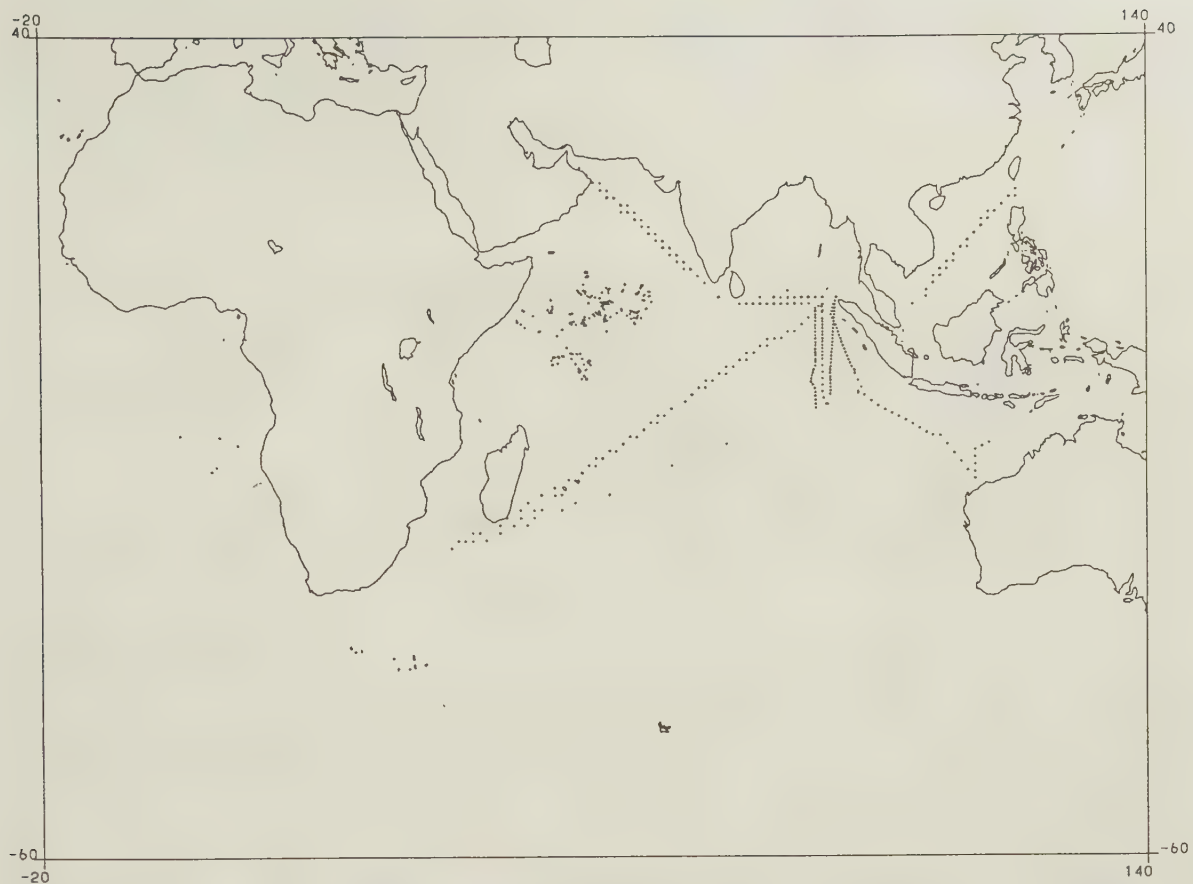


図1-2 本プロジェクトの「海洋に関する研究」で取得されたデータの測点図（1991年観測分）



図1-3 本プロジェクトの「海洋に関する研究」で取得されたデータの測点図（1992年観測分）



図2 インドネシアの験潮所とJEDAの航跡

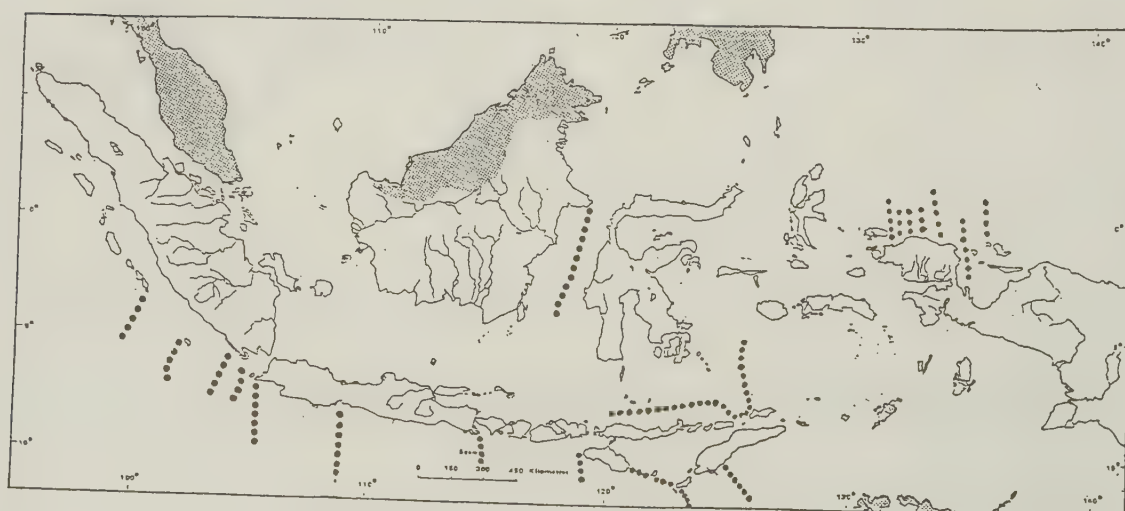


図3 Barna Jaya 測点図 (1990,1991年)

I. 大気を媒体とした海陸相互作用及び長周期変動に関する観測・解析研究
Study on Air-Sea-Land Interaction and their Long Term Variations

(2) 大気・陸面に関する観測研究

Observational Study on Air-Sea-Land Surface Interactions

① 広域エネルギー収支に関する観測研究

Observation on Regional Surface Heat Budget

気象庁気象研究所

萩野谷 成徳, 木下 宜幸, 加藤 真規子, 新野 宏,
藤谷 徳之助, 三上 正男, 高薮 出, 毛利 英明

Meteorological Research Institute,

Japan Meteorological Agency

S. Haginoya, N. Kinosita, M. Kato, H. Niino,

T. Fujitani, M. Mikami, I. Takayabu and H. Mouri

Abstract

Purpose of the study

In order to clarify the mechanism of the Asian Monsoon caused through Air-Sea-Land interactions, the large-scale heat budgets over two different areas are estimated by field observations: Tibetan-Himalaya Mountains Area and the Indian Ocean-South China Sea Area. Because of the vastness of the areas and their unsuitable conditions for observations, observatories or ships in these areas are so sparsely distributed that the basic meteorological data to clarify the mechanism of the Asian Monsoon are lacking. This study aims to collect these basic data and estimate large-scale heat budgets over the two areas.

Method of the study

Since the heat budgets in two areas are studied by different methods, they are described separately.

(1) Tibet

As a preliminary study for the actual observation in Tibetan-Himalaya Mountains Area, data obtained by a test operation in the field of Meteorological Research Institute were analyzed to determine soil heat capacity and heat conductivity.

(2) Indian Ocean

AWS observations were made on the Osaka-Maru(31,382 tons), which made six times round trips between Japan and Republic of South Africa through the South China Sea, the Strait of Malacca and the Indian Ocean in this fiscal year continued from last fiscal year. XBT observation was carried out on the Osaka-Maru on October 1992. The temperature of cooling water for engine was checked against the result of XBT observation. Observation data from October 1991 to March 1993 were analyzed.

Results

(1) Tibet

Heat capacity of soil was estimated by two different method. In the first method, the heat conductivity equation was used to simulate the

observed temperature profile in soil and the heat capacity was chosen to obtain the best fit to the observation. In the second method, the heat capacity of sampled soil was directly measured. It was found that the former method was of practical use to estimate the heat capacity of soil in case of no sampled soil.

(2) Indian Ocean

Temperature of cooling water for engine is about 2 degree Centigrade lower than sea surface temperature measured by XBT. The results from data analysis showed that the variation of air temperature, pressure and long wave radiation in the Indian Ocean are smaller than that in the Pacific Ocean. The variation in the equatorial region is smaller than in any other area. Latitudinal variation of energy fluxes along the course are obtained. Energy fluxes clearly show seasonal variation.

1. 研究目的

本研究では、大気を媒体とした海洋と陸面間の相互作用として発現しているアジアモンスーンの機構を解明するため2つの異なる地域における広域のエネルギー収支を評価する。そのうちの1つはインド洋・東南アジア地域の海面フラックス、もう1つはチベット・ヒマラヤの山岳地帯の地表面フラックスである。現在これらの地域・海域は、対象域の広さや観測環境の厳しさ等から観測体制が整備されておらず、気象の基本的要素に係わるデータの収集が必ずしも十分に行われているとはいえない。アジアモンスーンの機構解明にはこれらの基本的データを収集することがぜひとも必要である。本研究ではこれら基本的データを現地観測により収集し、それに基づいて広域熱収支解析を行うことを目的としている。

2. 研究方法

今年度は以下の2つの項目について研究を実施した。なお、各項目には研究対象地域名をつけてある。

(1) チベット

山岳用AWS (Automatic Weather Station, 自動気象観測装置) の試験観測データを解析した。

(2) インド洋

①大阪商船三井船舶株式会社の定期コンテナ船「大阪丸(31,382t)」に船舶用AWSを搭載し、インド洋航路の観測を実施した。

②大阪丸に乗船してXBT観測をした。得られたデータからエンジン冷却水と海面温度の間の補正値を求め、気候系監視報告¹⁾から求めた補正値と比較した。

③1991年10月から1993年3月までにインド洋航路で得られたデータを解析して、航路に沿った海上気象データおよびエネルギーフラックスの季節毎の緯度変化を調べた。

3. 研究成果

(1) チベット

地中の熱物理定数の推定法について検討した。本研究では陸上における潜熱フラックスを、正味放射から顕熱フラックスと地中伝導熱を差し引いた残差として求める。ここで潜熱フラックスの精度を上げるには地中伝導熱を精度よく求める必要がある。地中伝導熱は地中温度を測定し、熱量の変化から求める方法を用いる。温度の測定精度は $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ と十分であるため、地中伝導熱の精度は土壌の単位体積当たりの熱容量 $c\rho$ と熱伝導率 λ の精度に依存する。ただし、 c と ρ はそれぞれ土壌の比熱と密度である。 $c\rho$ と λ を求める方法には[1] $c\rho$ と λ を統計期間内(1カ月)で一定であると仮定して、夜間に土壌が失った熱

量と正味放射から最小2乗法で推定する方法，[2]地中温度の日変化の振幅から温度拡散係数($\lambda/c\rho$)を求め，夜間の地表面の冷却量と正味放射から($c\rho\lambda$)を求め，これらから $c\rho$ と λ を分離する方法がある2)。しかしこれらの方法では $c\rho$ と λ を統計期間内で一定であると仮定したり，温度分布の時間変化から求めた熱量の推定に誤差が入ったり，温度の時間変化を正弦関数と仮定したりしていて現実の条件を必ずしも反映していない。また降水に対応する $c\rho$ の変化を組み込むことが困難であった。

そこで，ここでは地中熱伝導方程式を解いて，観測された地中温度分布を予報するように土壌の温度拡散係数を求めた。一方，上記の方法とは別に土壌を採取して直接 $c\rho$ を求め，それぞれの値を比較した。さらに $c\rho$ や λ と土壌水分計の出力との関係を求めた。データは気象研究所構内で実施した山岳用AWSの試験観測データを用いた。第1図(a)は $c\rho$ と土壌水分計の出力電圧との関係を示した。×印のデータは正味放射量が不良のデータである。回帰直線は×印で示したデータを除いて最小2乗法で求めた。◇印は土壌を採取して測定した $c\rho$ の値で，エラーバーでその誤差範囲を示してある。間接測定で推定した値は採取測定値とほぼ一致している。第1図(b)は λ と土壌水分計の出力電圧との関係を示している。 $c\rho$ の場合と同様に×印で示した点を除いた回帰式を図中に示した。

以上から，地中温度のシミュレーションと夜間冷却量および正味放射から $c\rho$ と λ を推定でき，またそれらと土壌水分計の値との関係を調べることで降水に対応した $c\rho$ と λ を導くことが可能であることがわかった。

なお，この計算では($\lambda/c\rho$)を24時間一定と仮定しているので日平均の土壌水分計出力電圧から日平均の $c\rho$ と λ を求め，熱収支解析に用いることになるが，それでも1カ月一定の仮定をした場合よりもかなりの改善が見込まれる。

(2)インド洋

①大阪丸船上でXBT観測を実施し，大阪丸エンジン冷却水温度と比較した(第2図)。メーターの読み取り値に対する補正值は気候系監視報告¹⁾から求めた値と同じであった。エンジン冷却水温度は2°Cの補正を施せば，海水温度として使用できることが示された。今後は気候系監視報告の値と比較して較正值がずれていないかどうか随時チェックし，用いることとする。1993年4月よりエンジン冷却水温度の連続記録が取れるように記録計を設置し，計測を開始した。

②AWSデータ解析結果。第3図には1991年10月から1993年3月までの大阪丸の位置をプロットした。解析に先立ち観測装置のデータチェックをした。チェックは大阪丸本船データとの比較，他の船舶のルーチンデータとの比較および実験式との比較によって行った。第4図は長波放射計で測定した日平均下向き長波放射量と実験式による計算結果との比較である。ここで実験式は日平均気温と湿度から快晴時の下向き放射量を求める実験式²⁾を用いた。データはAWSで測定した日平均気温と同湿度を使った。実測値のデータが快晴時のデータよりも大きいところにあり，データの妥当性が確認された。なお，快晴時よりも大きいのは雲からの長波放射の影響である。

第5図には1991年10月から1993年3月までに得られたデータのうち，気温，気圧，日積算全天日射量，下向き長波放射量の緯度変化を示した。図中のマークは航海時の月を表す。次のような特徴が見られる。赤道付近では変動の大きさが他の海域よりも小さい。北半球側(太平洋側)の方が南半球(インド洋側)に比べて変動が大きい。夏と冬の傾向の差が明瞭に表れている。

熱収支解析の結果を第6図に示す。計算は1日平均の気象要素から各種フラックスを求めた。正味放射量(R_n)は $(1-\alpha)S\downarrow + \varepsilon(L\downarrow - \sigma T_s^4)$ から計算した。ここで α は海面のアルベド($=0.06$)， $S\downarrow$ は全天日射量， ε は海面の射出率($=0.96$)， $L\downarrow$ は下向き長波放射量， σ はステファン-ボルツマン定数， T_s は海面温度である。顕熱(H)と潜熱(λE)の算出はバルク法³⁾を使用した。第5図と同様に夏と冬の熱輸送量に明瞭な差異が見られる。また，北半球の方が南半球に比べて変動が大きい。北半球の正味の熱輸送量($R_n + H + \lambda E$)は夏と冬の差異はあまり明瞭ではないが，南半球では夏と冬で明瞭な区別が付きその境界は0から $100W\cdot m^{-2}$ の範囲にある。 $30^\circ S$ 付近で約 $+300W\cdot m^{-2}$ の正味熱輸送量が見られる。これは全天日射量が他のどの海域よりも大きいことに起因している(第5図(c)参照)。2

0°N以北で-300W・m⁻²以下の正味熱輸送量は顕熱と潜熱の影響である。

4. 考察

(1)チベット

データ解析のうち、地中伝導熱を精度よく求めるのに必要な、土壌の熱物理定数が地温分布データから求められる見通しがたった。また熱物理定数と土壌水分計の出力との関係も明らかになった。

(2)インド洋

航路に沿ったデータ解析より、南半球の各気象要素の変動の大きさが、北半球のそれに比べて小さいことが明らかになった。また熱収支各項の緯度変化と季節変化が明らかになった。

(3)今後の研究計画

①チベット

来年度は、中国へ装置を移送、操作方法のトレーニングを中国（成都）で行うこと、1993年夏までにチベットに装置を設置し、観測を開始することおよび研究者の日本招聘の4点を実施する。

②インド洋

今回のデータを基にして付近を航行中の他の船舶や衛星データ等のデータを校正し、ベルト状の広域海面熱収支を求める。10分毎の密なデータセットが得られたので、これを基に降水擾乱と気象要素やフラックス等との関係についても解析する。前年度に引続き一般の船舶に装置を搭載し、東南アジア・インド洋航路の観測を実施し、観測データを蓄積する。オメガゾンデを用いてインド洋上の大気境界層の熱的構造を解明する。

5. 引用文献

- 1)気候系監視報告, 1991, 1992, 1993:No.91-10~No.93-03, 気象庁編. 各50pp.
- 2)竹内清秀, 近藤純正, 1981: 大気科学講座1, 東京大学出版会, 226pp.
- 3)Kondo, J., 1975: Air-sea bulk transfer coefficient in diabatic conditions. Boundary-Layer Meteorol. 9, 91-112.

6. 成果の発表

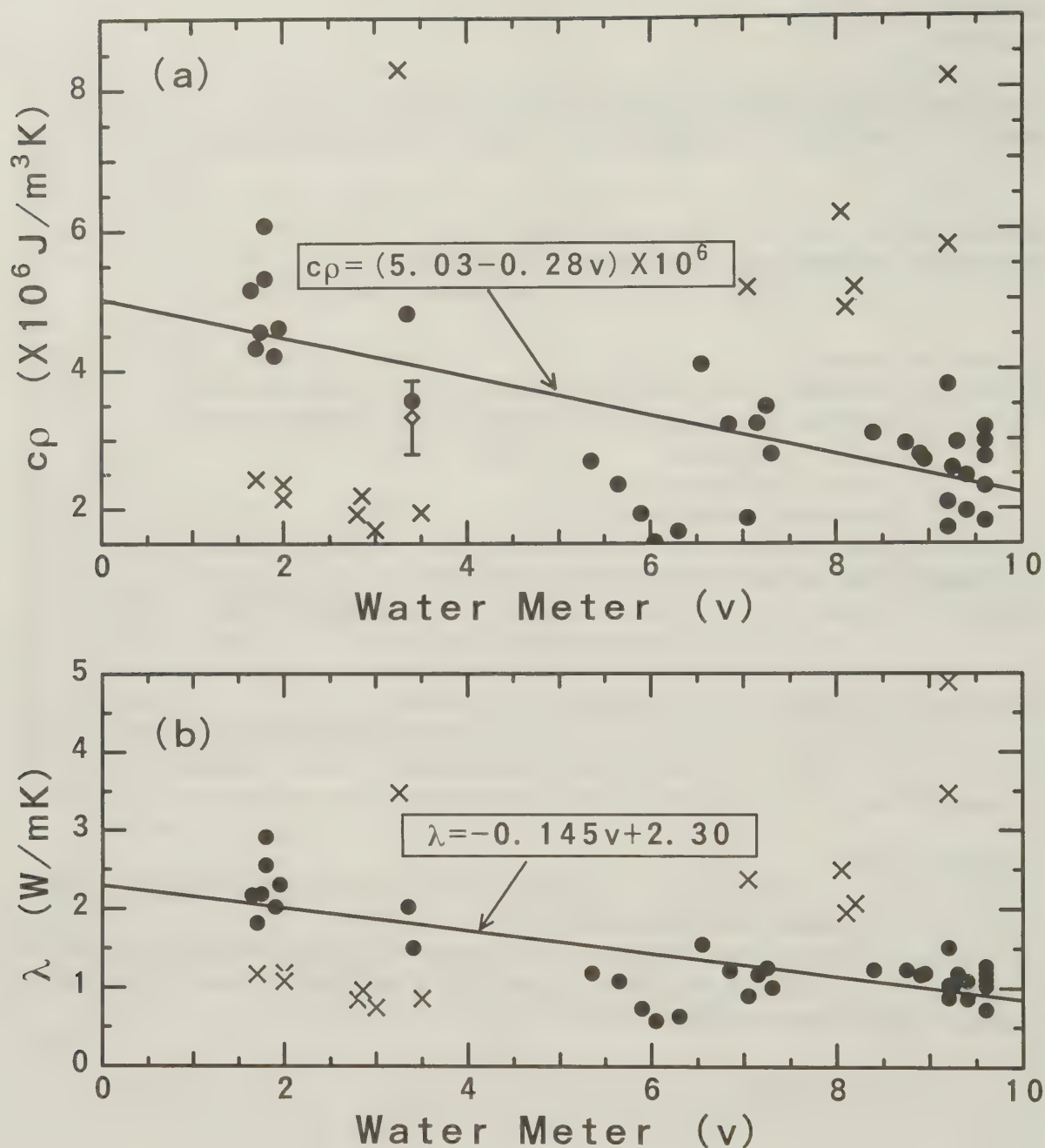
1)国内

発表者名	発表題名	学協会誌名等	備考
(論文) S.Haginoya	Observation on Regional Surface Heat Budget-Plan preliminary results and review of analysis method-	アジアモンスーン機構に関する研究「日本と中国におけるアジアモンスーン研究」, 70-91, 1992.	
萩野谷成徳	広域海面熱収支の自動観測のための船舶用自動気象観測装置	日本気象学会 1992年春季大会シンポジウム予稿集, 41-42, 1992.	
萩野谷成徳 木下 宣幸 加藤真規子 新野 宏 藤谷徳之助	広域エネルギー収支に関する観測研究	科学技術庁研究開発局 海洋開発及び科学技術調査研究費平成3年度成果報告書「アジアモンスーン機構に関する研究」, 59-72, 1992.	

三上 正男 高 薮 出 毛利 英明			
萩野谷成徳 小幡 紀一 木下 宣幸	啓風丸で観測された水温日 変化についての熱収支的考 察	日本気象学会 「天気」, 40, 197-205, 1993.	
(講演) 萩野谷成徳	降水擾乱が海上気象要素に およぼす影響	日本気象学会 1992年春季大会講演予稿集, 94, 1992.	
Haginoya, S.	Observation on Regional Surface Heat Budget -Plan, preliminary results and review of analysis method-	Preprints of International Symposium on Asian Monsoon, Tsukuba, 90-93, 1992.	
萩野谷成徳 木下宣幸	広域海面熱収支の自動観測 (3)	日本気象学会 1992年秋季大会講演予稿集, 172, 1992.	
萩野谷成徳	広域海面熱収支の自動観測 (4)	日本気象学会 1993年春季大会講演予稿集, 237, 1993.	

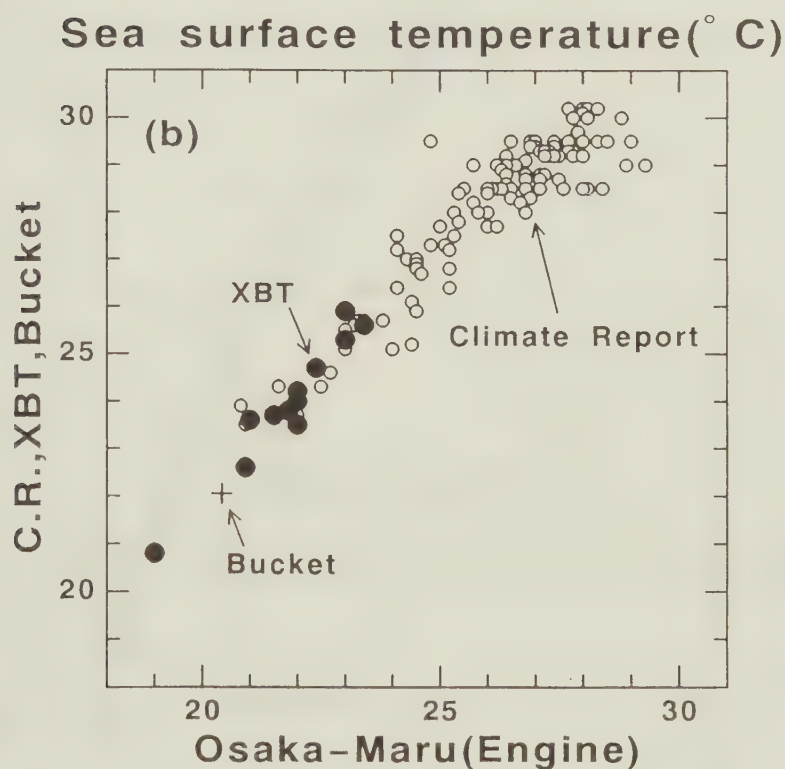
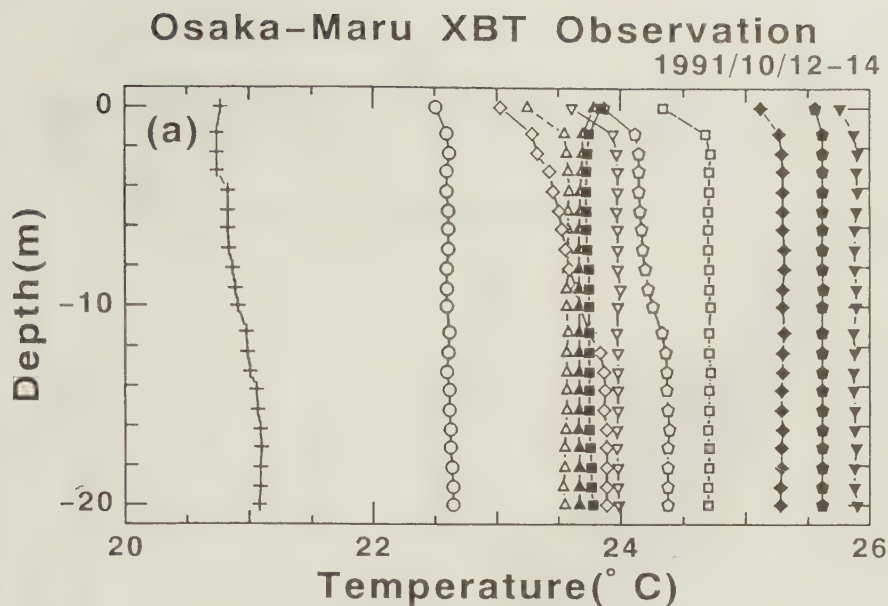
7. 関係国との協力

本研究のうちチベット高原における気象観測は中国国家気象局気象科学研究所との共同研究で行われる。今年度は実施取極が調印された（1993年1月11日）。北京でアジアモンスーンに関する日中共同研究についての第1回合同作業部会が開催され（1993年3月11日～14日）、チベット観測の具体的計画が検討された。詳細については本合同作業部会の報告書の中の附属書にまとめられている。



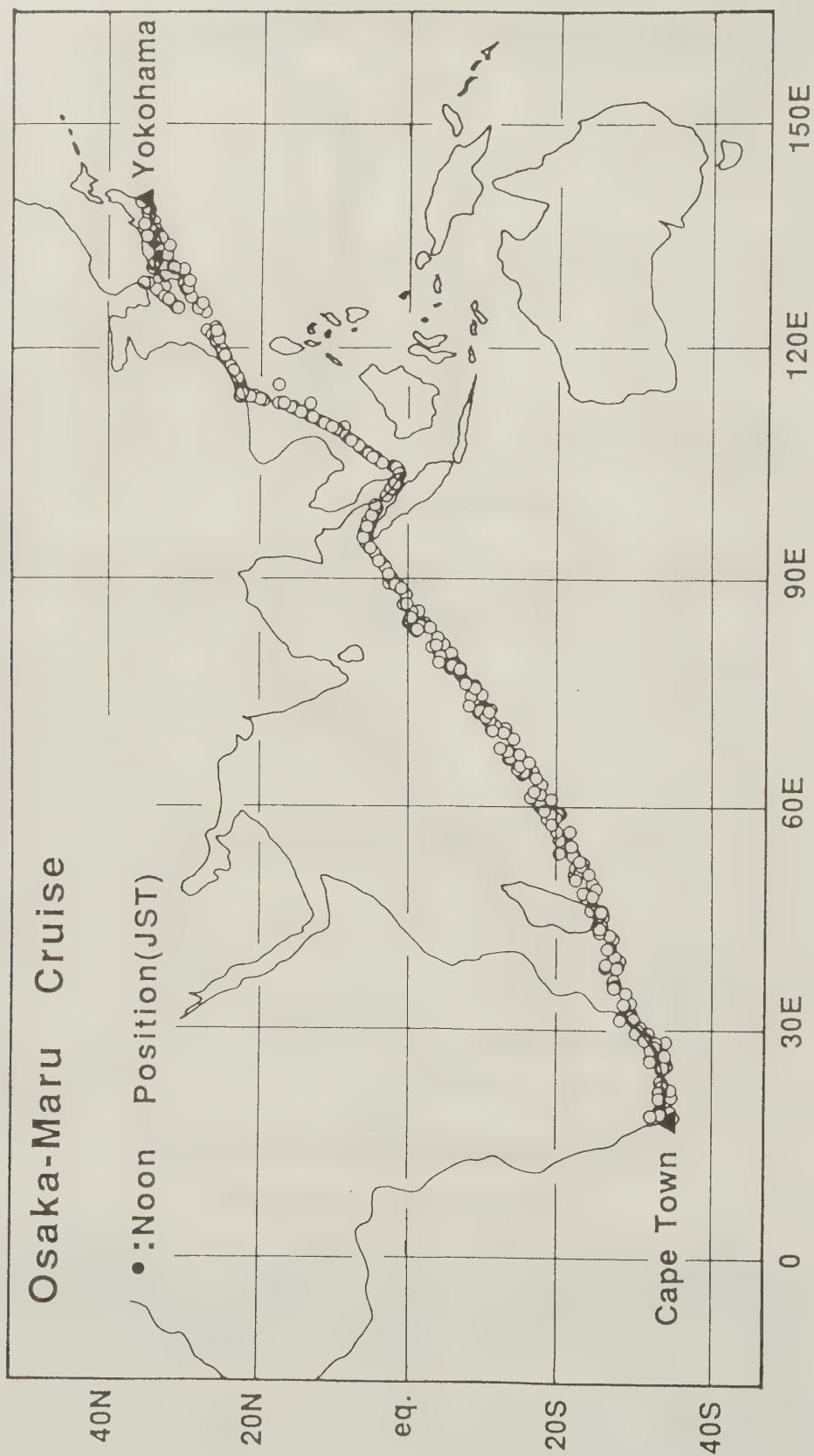
第1図 土壌の熱容量 $c\rho$ および熱伝導率 λ と土壌水分計出力との関係。×印のデータは正味放射量が不良のデータ。回帰直線は×印で示したデータを除いて最小2乗法で求めた。(a)において◇印は土壌を採取して測定した熱容量、エラーバーはその誤差範囲を示す。

Fig.1 The relation between heat capacity of soil($c\rho$), heat conductivity (λ) and the output of water meter of soil. Mark "X" shows the data for which net radiation is erroneous. Regression curve was obtained by least square method from the data except for "X". Mark "◇" in figure (a) indicates the heat capacity measured from sampled soil and error bar indicates its magnitude.



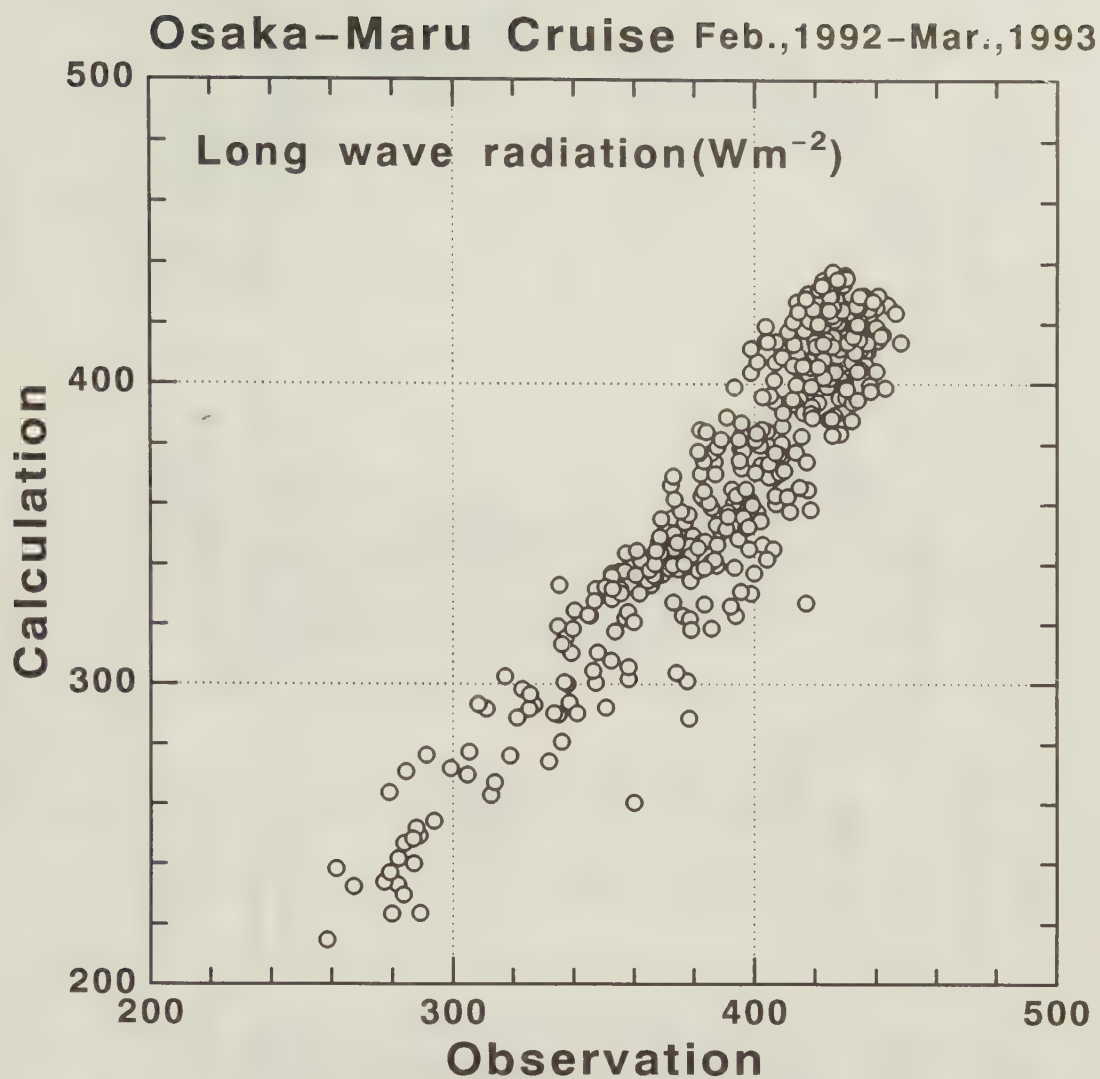
第2図 XBT観測結果。(a)深さ20mまでの温度の鉛直分布。比較には3mから10mまでの平均値を用いた。(b)エンジン冷却水温度とXBT、バケツ採水および気候系監視報告(Climate Report)の海水温度との比較。気候系監視報告の値は通報データの月平均値である。

Fig.2 Results of XBT observation. (a)Vertical temperature profile from surface to the depth of 20m. The average temperature between 3m and 10m in depth were compared with the cooling water temperature for engine. (b)The relation among the cooling water temperature for engine, the sea water temperature obtained from XBT, bucket sampling and the data in the Climate Report. The values of Climate Report are monthly mean value calculated from reported data from various ships.



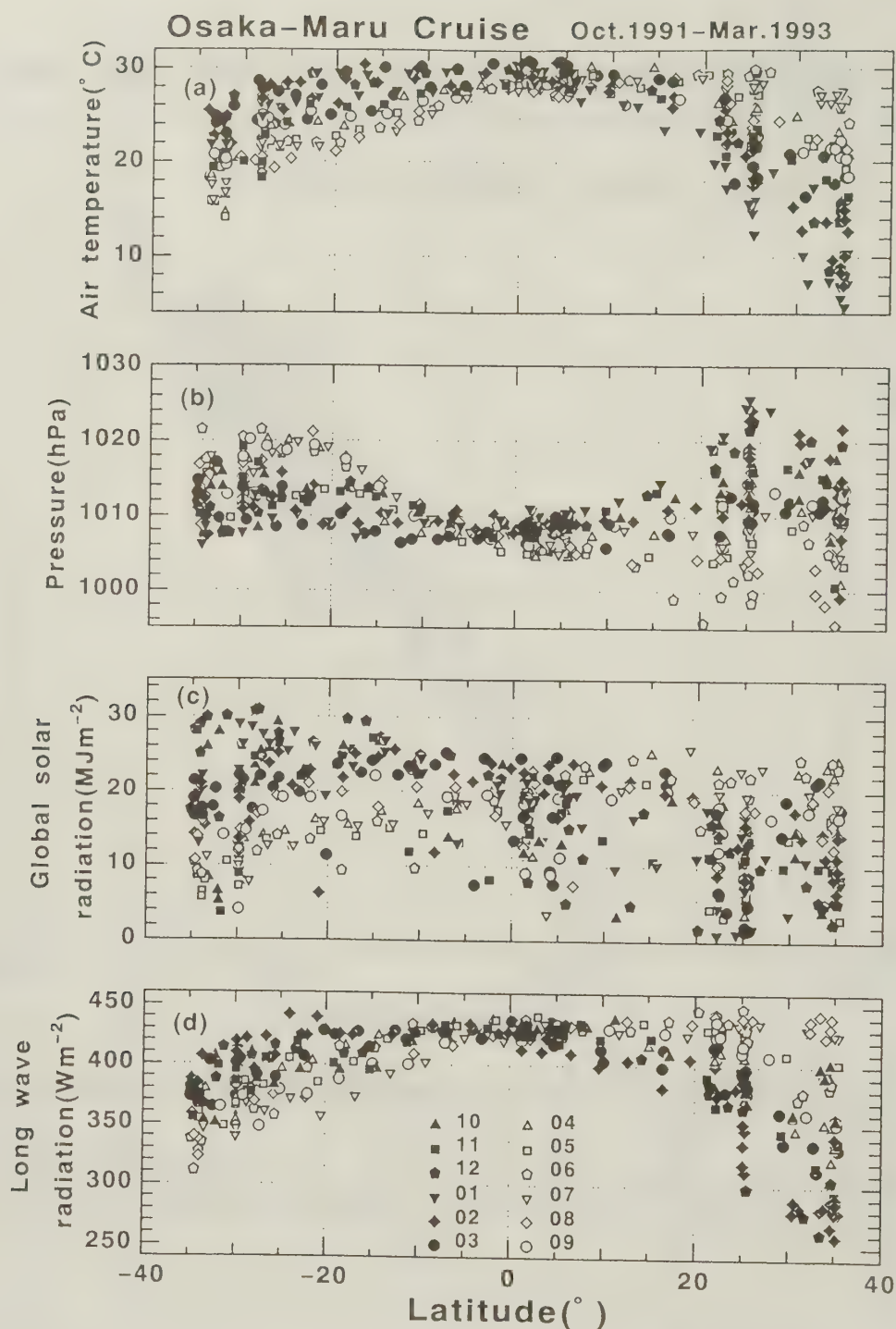
第3図 大阪丸の航路。1991年10月から1993年3月まで、日本時間正午の位置を示す。

Fig.3 The cruise course of the Osaka-Maru from October 1991 to March 1993. The open circles indicate the positions at 1200 JST.



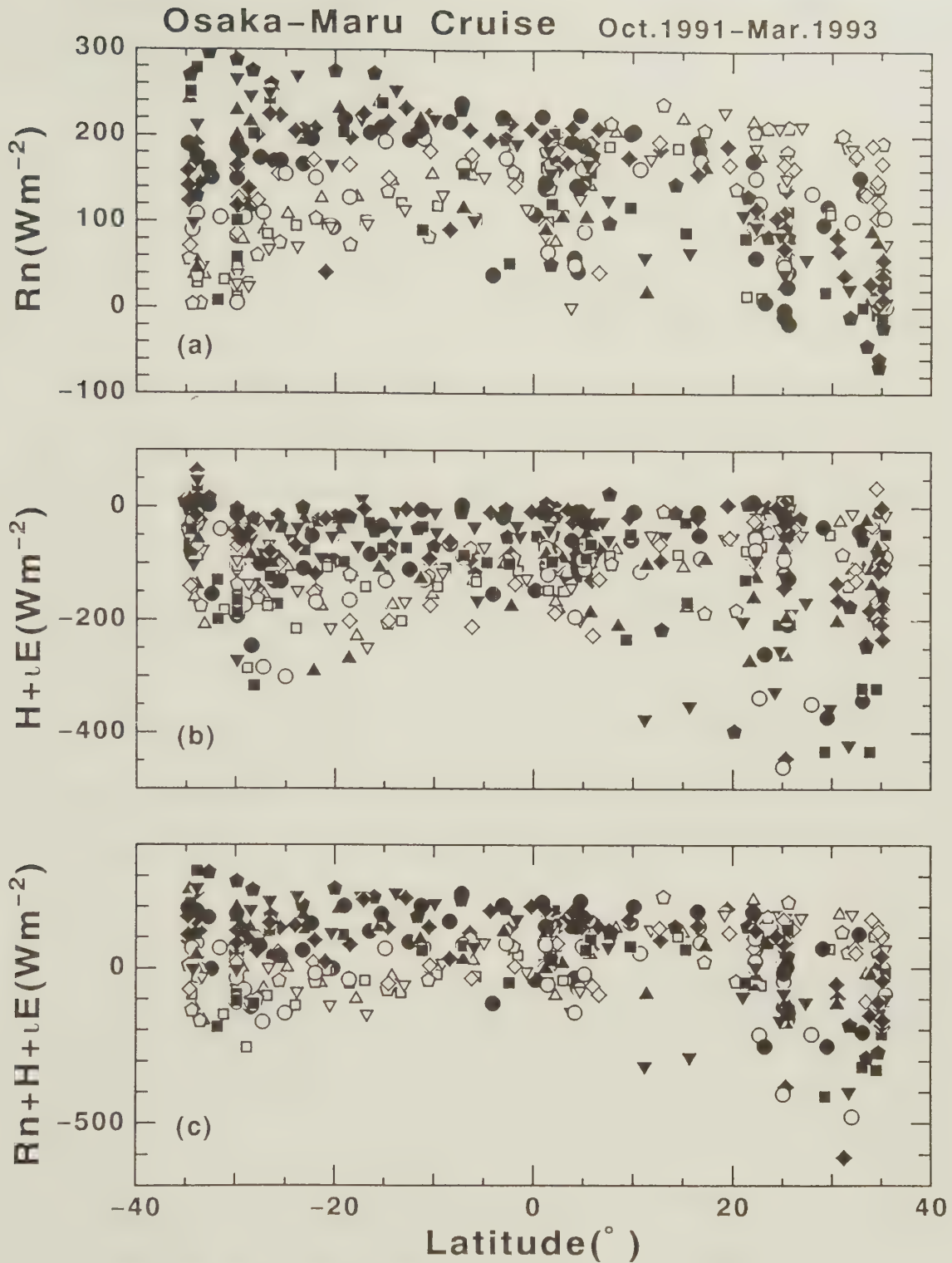
第4図 長波放射計で測定した日平均下向き長波放射量と実験式による快晴時の計算結果との比較。

Fig.4 Comparison of the downward long wave radiation measured by pyradiometer with that calculated from empirical formula in clear sky.



第5図 AWSで測定した(a)気温, (b)気圧, (c)全天日射量, (d)下向き長波放射量の緯度変化. (a), (b)および(d)は日平均値, (c)は日積算値. マークは各航海毎に出港した月で分類した. 白抜きは北半球の夏季, 黒く塗りつぶしたのは冬季を表す.

Fig.5 The latitudinal variation of (a)temperature, (b)pressure, (c)global solar radiation and (d)downward long wave radiation. (a), (b) and (d) are daily mean value, and (c) is daily accumulated value. Each mark denotes a different cruising month as indicated in (d). Open marks show the summer season in the Northern Hemisphere, and solid mark vice versa.



第6図 エネルギーフラックスの緯度変化。(a),(b)および(c)はそれぞれ正味放射エネルギー, 乱流エネルギー, 正味エネルギーである。符号は海面に入る方向を正とした。マークは第5図と同じ。

Fig.6 The latitudinal variation of energy fluxes. (a), (b) and (c) are net radiation flux, turbulent energy flux and net energy flux, respectively. Positive sign indicates the flux toward the sea surface. The meaning of marks is same as in Fig.5.

1. 大気を媒体とした海陸相互作用及び長周期変動に関する観測・解析研究

Study on Air-Sea-Land Interactions and their Long Term Variations

(2) 大気・陸面に関する観測研究

Observation on Regional Surface Heat Budget

郵政省通信総合研究所

中村健治、増田悦久

Communications Research Laboratory,

Ministry of Posts and Telecommunications

Kenji Nakamura and Yoshihisa Masuda

(Abstract) A wind profiler for lower atmosphere wind observation was developed. The frequency of the wind profiler is 1,327.5 MHz and the peak power is 1 kW. The pulse length is variable as 0.5, 1.0, and 2.0 μsec . to give the system observational flexibility. That is, when the backscattering echo is very weak or long observation range is required, a pulse length of 2.0 μsec . will be used, and when good range resolution is required, the shortest pulse length of 0.5 μsec . will be used. The maximum coherent integration number is 128 to give high sensitivity. During the test observation, the performance of the wind profiler and RASS was confirmed. For the temperature profiling experiment using RASS at Tokyo, the development of the temperature inversion was clearly observed.

The system was shipped to Okinawa Radio Observatory, Communications Research Laboratory in 1992. The preliminary data of wind profiles were obtained. There found several problems in the wind observations, (1) the antenna fluctuates in strong wind, (2) system control problem due to improper ground lines, and (3) unexpected level increase in Doppler spectra. The first problem will be solved by replacing the antenna pedestal by more rigid one. The second problem has been solved by checking the ground lines. The third problem is under investigation.

1. 研究目的

海陸相互作用の解明のためには、大気の基本量である気流、気温の詳細な観測が必要である。従来の観測方法はラジオゾンデであるが、ラジオゾンデでは連続観測はできず、気流構造の詳細観測には不向きである。また、ゾンデは風に流されるため、ある一点の風の鉛直プロファイルを測定しているわけではないので、測定データの解釈に注意が必要である。その一方、ウィンドプロファイラは大気中の乱流を追うこのにより風を測定する装置であり、ゾンデの持つ上記の欠点は持たない。このような装置としては同じように電波を利用したドップラ降雨レーダがあるが、ドップラ降雨レーダは降水粒子からのレーダ散乱波を受信するので、観測域が降雨域内のみに限られる。一方、ウィンドプロファイラは観測域は降雨域には限られない。しかし、ウィンドプロファイラの観測域はウィンドプロファイラの上空に限られ、平面的な観測には向いていない。

このような、ウィンドプロファイラの特長を生かし、(1) 高度 3 km までの風の連続観測を行ない、大気境界層と自由大気との係わりを研究する、(2) ドップラ降雨レーダとの共同同時観測を通じ、特に積雲周囲の下層大気の気流観測を行ない、積雲対流・降水活動の研究を行なう。

2. 研究方法

完成したウィンドプロファイラによる連続観測を 8 月に東京都小金井市の通信総合研究所構内において行ない、システムの評価、特に RASS による気温の鉛直プロファイルの観

測を行なった。

平成4年の暮れにシステムを沖縄電波観測所に移設し、沖縄における観測を開始した。沖縄電波観測所は図1に示すように沖縄本島の南部に位置しており、中部の山の頂上から太平洋の斜面を少し下った所にあり、標高は約60mである。航空路監視用のレーダ（ARSR: Air Route Surveillance Radar）の干渉等がもしあった場合、その影響を避けるために建物の位置を考慮して地面に設置した。図2に設置された電波アンテナ及び音波アンテナを示す。システム制御部、IF帯プロセッサ、データ処理、記録部等は建物内部に設置した。

設置後、アース不良等の不具合が生じ、かなりの時間を原因究明にさかれた。また、風が強い時に、アンテナが風により振られ（ハンチング）、データ収集に支障をきたした。風によるハンチングはアンテナ架台の強度不足と考えられている。この対策として、レドームで全体を覆う案も考えたが、予算的に無理と考えられ、アンテナ架台の変更で次年度以降対応することとした。当面は強風時には観測に支障をきたすことになる。

3. 研究結果

ウィンドプロファイラによる沖縄における風の初期観測結果

図3に沖縄における日中の風観測の結果の例を示す。日時は平成4年12月4日、平成5年2月10日、3月22日である。いずれも距離分解能は300mとしてある。感度は距離分解能の2乗に比例して良くなる。300mという分解能は本ウィンドプロファイラの最も良い感度のケースである。

いずれの場合でも高度3.5km以上までの風が測定されている。しかしながら風の分布にはまだスパイク的な異常データ、またランダムに近い変動がみられ測定値はまだ信頼できない。さらに、図では明瞭ではないが、高度1km付近以下で風観測が十分にできていない。これは図4に示すドップラスペクトルの例を見るとはっきりする。このスペクトルは3月25日の観測例で3方向（鉛直、方位角135度、方位角225度）の場合の例である。ドップラ速度ゼロ付近のピークは大気乱流からの散乱と固定クラッタからの散乱エコーである。方位角225度（右端の図）では高度2.5kmあたりにドップラ速度数m/sを持つピークが明瞭に現われており、このピークは高度4km以上までトレースできる。問題は、高度2km以下でスペクトル全体のレベルが上がっていることである。この原因としては外からスパイク状の電波干渉、アンテナのハンチング等が原因ではないかと考えているが、同定はできていない。スペクトルの時系列から現象の発生高度を確認する、スペクトル解析を行なうまえのデータ取得を行なう、等の観測、処理を行なって、原因を同定していく予定である。

4. 考察

低層大気観測用ウィンドプロファイラ、RASSを完成した。東京国分寺においてテスト観測を行なった。東京における観測では、気温逆転層の成長がきれいに観測された。また沖縄移設を行ない、沖縄での連続観測を開始した。

RASSの気温高度分布は、微風時には高度1.5km程度までの観測が可能であることが確認できた。RASSの探査高度は、風向風速に大きく影響を受けることから安定した気温高度分布の観測には、レーダのアンテナを取り巻くように配置した少なくとも4台の音波アンテナが必要である。

又、低層大気観測用レーダで観測された晴天乱流エコーの冬期（2月下旬から3月のデータ）の最大探査高度は、晴天時には約1.5kmから3km、相対湿度が比較的高いと思われる時間には3kmと安定しており、計画当初の観測推定高度を実現している。降雨時に

は、雨滴、及びブライトバンド上空の氷晶からの強い散乱波が観測され高度 4 km 以上の水平風速高度分布の観測ができるほか、同時に降雨構造の解明に有用な散乱波強度のデータが得られている。

ウィンドプロファイラは非常に感度の高いレーダであり、それだけに周辺の電磁環境敏感なようである。次年度以降は、計画を変更し、より大きな口径を持つアンテナに、もっと大きな強度を持つアンテナ架台を整備していくことにしている。

5. 参考文献
特に無し。

6. 成果の発表

①学協会誌における誌上発表

1) 国内誌

発表者名	発 表 題 名	発表誌名等	備考
増田悦久 岡本謙一 中村健治 井原俊夫 大西 勉	低層大気観測用レーダの開発	日本リモートセンシング学会誌 vo. 12, No.2, 43-56, 1992	

2) 外国誌

発表者名	発 表 題 名	発表誌名等	備考
Y. Masuda, J. Awaka, K. Nakamura, T. Adachi and T. Tsuda	「Analysis of the radio acoustic sounding system using a chirped acoustic wave」	Radio Science, vol. 27, No.5, 681-691, 1992	

②学協会誌以外の誌上発表
無し。

③口頭発表

発表者名	発 表 題 名	発表誌名等	年月日
中村健治 増田悦久	「Wind profiler for planetary boundary layer and lower atmosphere study 」	アジアモンスーンに関する 国際シンポジウム	1992.9.25

④特許出願等
無し。

7. 関係国との協力
無し。

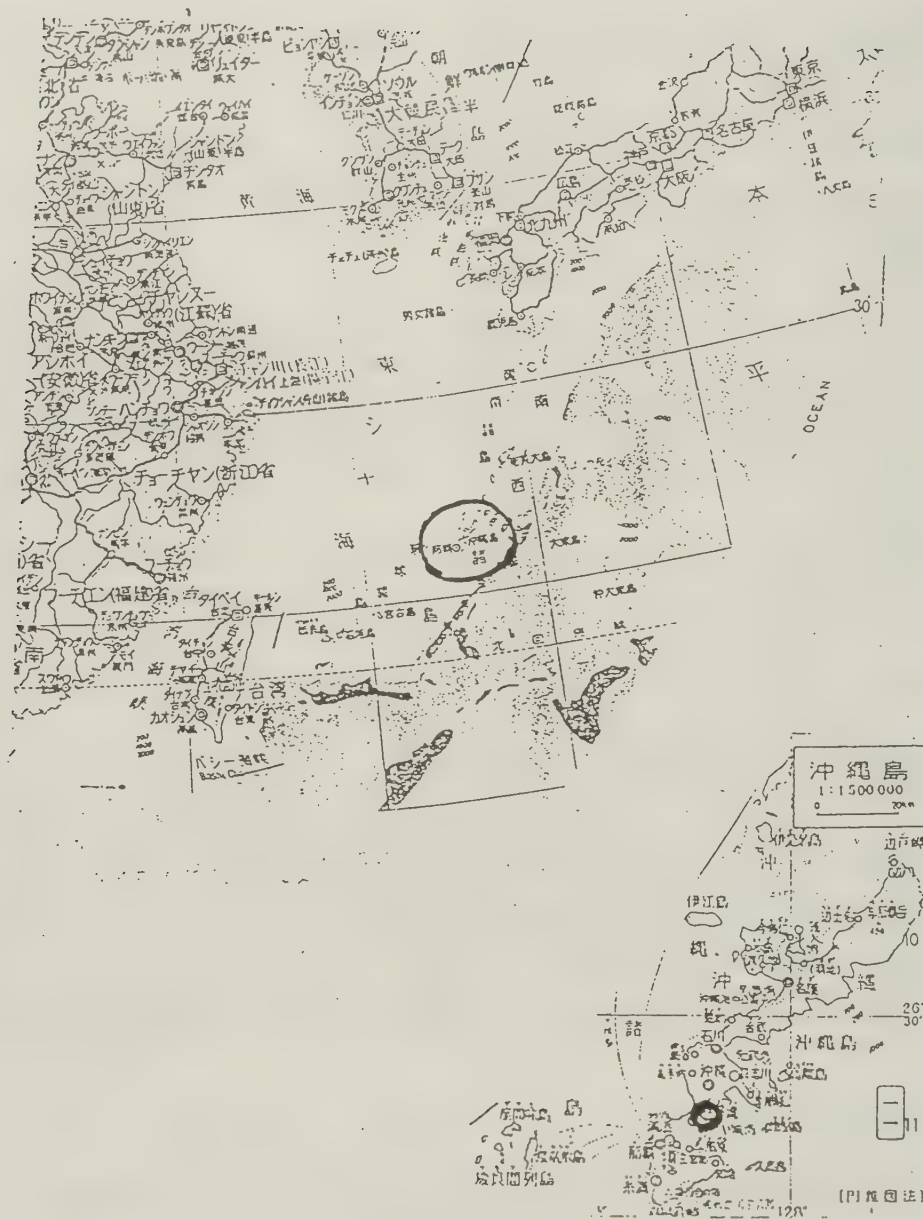


図1 ウィンドプロファイラの設置位置。○印が位置を表す。

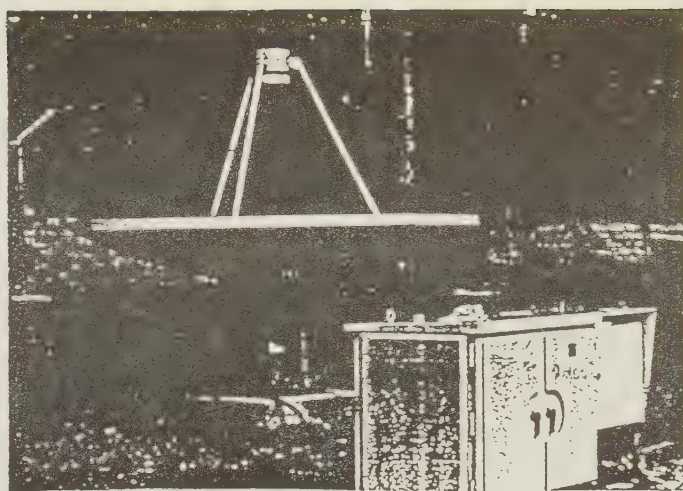
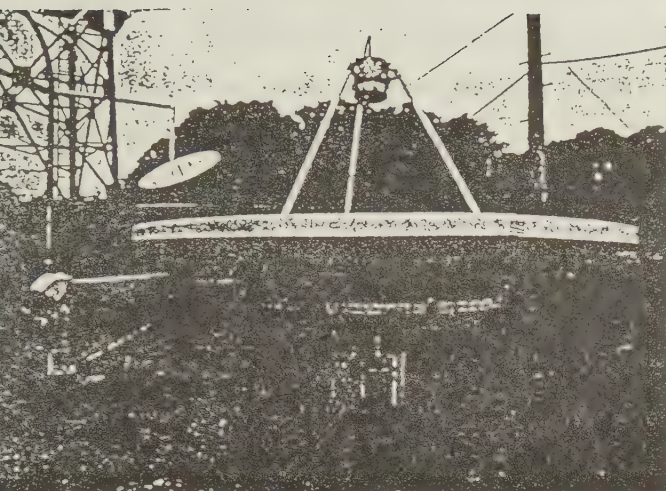


図2 ウィンドプロファイラの設置状況。音波アンテナと電波アンテナ（左）、
電波アンテナと送信機（右）

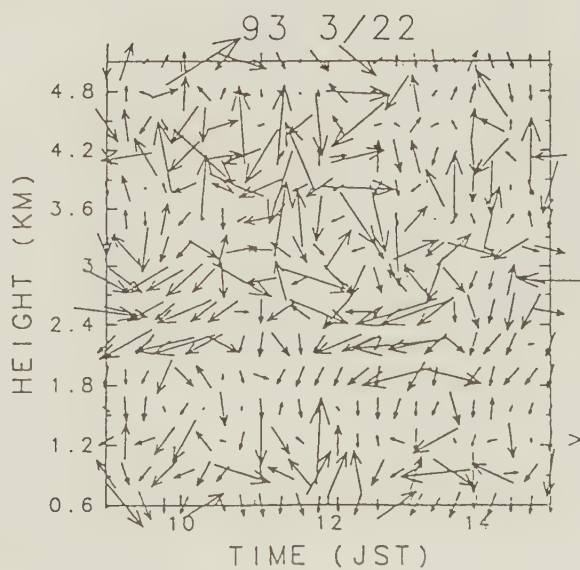
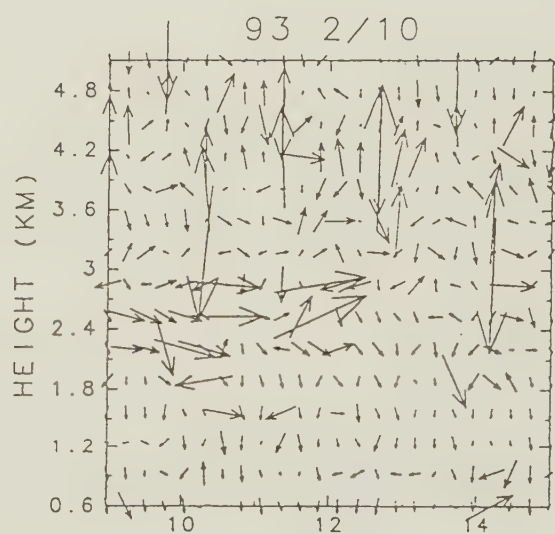
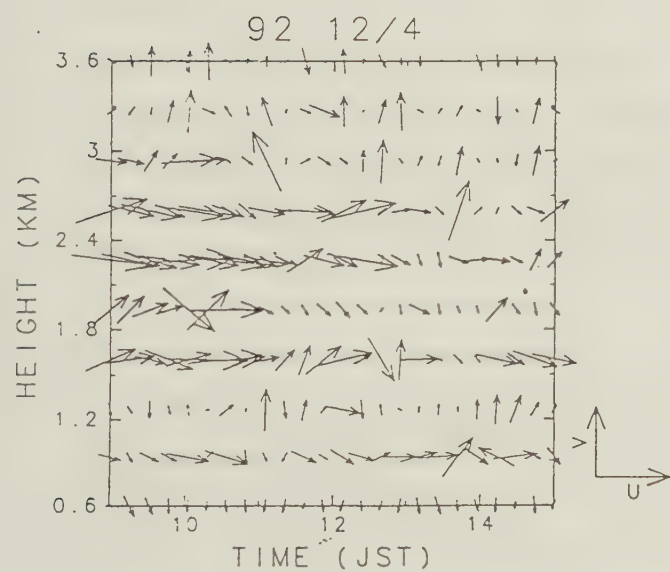
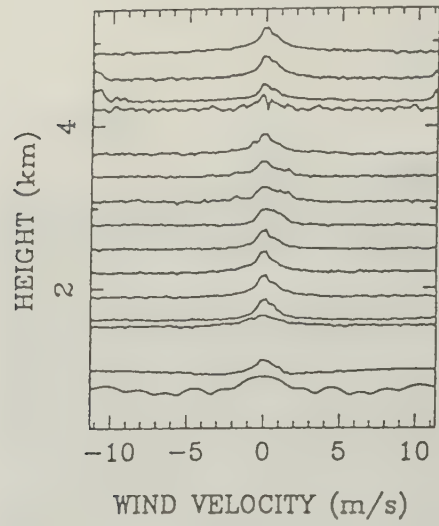
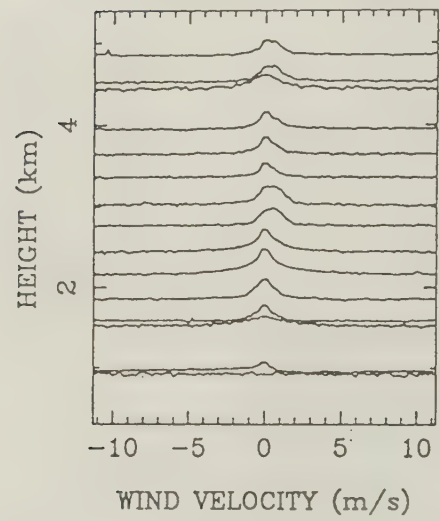


図3 沖縄における風観測の例
平成4年12月4日（上）、
平成5年2月10日（右上）、
平成5年3月22日（右下）

9303251842 000/000



9303251842 135/010



9303251842 225/010

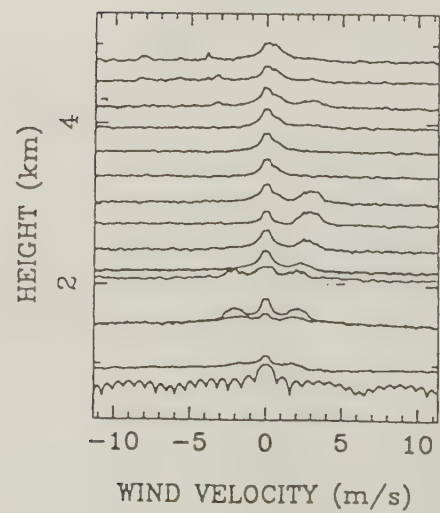


図4 沖縄での風観測における
ドップラスペクトルの例。
上：鉛直ビーム、
中：方位角135度、
下：方位角225度

1. 大気を媒体とした海陸相互作用及び長周期変動に関する観測・解析研究

Study on Air-Sea-Land-Interaction and their Long Term Variations

(2) 大気・陸面に関する観測的研究

Observational Study on Air-Sea-Land-Surface Interactions

② チベット・ヒマラヤにおける水文変動に関する観測研究

Obesrvation on Hydrologic Variations in Tibet-Himalayh area

科学技術庁 防災科学技術研究所

新庄雪氷防災研究支所

木村 忠志

佐藤 威

Shinjo Branch of Snow and Ice Studies,
National Research Institute for Earth Science
and Disaster Prevention,
Science and Technology Agency
Tadashi Kimura and Takeshi Sato

(ABSTRACT)

At the later half of the fiscal year of 1992, an agreement was signed on the cooperative work between Chinese Academy of Meteorological Science and Science and Technology Agency of Japan, and the cooperative work started.

Three sets of snow-weight and frost-depth meters (SFM) prepeard in 1991 have been sent to China , and its prosedure of handling-setting was explained to Chinese co-workers.

Then, Xigaze, Lhasa and Nagqu were selected as observatory for SFM. On the other hand , it was informed from Chinese co-workers that it is impossible to make a hole for SFM in the ground (2m depth, 6cm diameter) by hand auger. A new gasoline engine driven auger was designed and built. This auger was sent to Chinese co-workers after warking test in Japan.

1. 研究目的

チベット・ヒマラヤ高原地域において、積雪重量、地面温度、凍結深の3要素の長期間自動観測を3地点の観測点において実施し、得られた観測資料により、雪氷が関与する同地域の水文変動を解明し、モンスーン変動との相関を研究する。

2. 研究方法

本研究の現地観測は、上記した3要素を測定内容とする積雪重量・凍結深自動測定記録装置（木村，1992）によって実施する。本装置は平成3年度に3組製作した。

3. 研究成果

本年度後期に、本研究の中国側担当者である、中国国家気象局気象科学院との間に共同研究の実施取り決めが調印され、共同研究が開始された。準備してあった3組の積雪重量・凍結深自動測定記録装置を中国側に送付し、設置方法取扱い方法等を説明した。また、設置場所の検討を行い、シガツエ、ラッサ、ナッチュを選定した。一方、凍結深計設置孔（深さ2 m、直径6 cm）の掘削に関連して、頭初計画していたハンドオーガーでは実施不可能の場合があるという中国側からの情報があり、ガソリンエンジン駆動のオーガーを設計・製作し、動作試験により機能を確認した後、中国側に送付した。

4. 引用文献

木村忠志，1992：チベット・ヒマラヤにおける水文変動に関する観測研究
アジアモンスーン機構に関する研究，平成3年度成果報告書，
平成4年9月，科学技術庁研究開発局，80－83．

5. 成果の発表

なし

6. 関係機関との協力

①国内

本研究で使用する観測装置は、気象研究所が「広域エネルギー収支に関する観測研究」において、チベット高原に設置する4地点の気象測器設置場所のうち、3地点に併設を予定している。このため、気象研究所の担当者と、必要に応じて情報交換を行っている。

②国外

本研究の中国側担当者である中国科学院国家気象局気象科学研究所との間に、本年度後期に共同研究の実施取り決めが合意・調印され、共同研究が正式に発足した。現在、平成5年度秋季までに、中国側担当者により、観測装置の現地設置が実施され、観測が開始される予定で、関連作業が進行中である。

1. 大気を媒体とした海陸相互作用及び長周期変動に関する観測・解析研究

Study on Air-Sea-Land Interactions and their Long Term Variations

(2) 大気・陸面に関する観測的研究

Observational Study on Air-Sea-Land Surface Interactions

③ 大規模雲域内における対流雲構造に関する研究

Observation on Convective Cloud in Cloud Clusters

気象庁気象研究所

榊原 均、田畑 明、岡村博文、赤枝健治、

森 一正、島津好男、吉崎正憲

Meteorological Research Institute,

Japan Meteorological Agency

H.Sakakibara, A.Tabata, H.Okamura, K.Akaeda,

K.Mori, Y.Shimazu, M.Yoshizaki

(Abstract)

In order to study three-dimensional structures of convective cloud in cloud clusters, Doppler radar and rawinsonde observations were made. The 3-cm Doppler radar and the rawinsonde system of M.R.I. and the 3-cm Doppler radar of N.I.E.D. were installed at the island of Miyakojima (25 N, 125 E). Observations were made in two periods, that is, 23 May to 20 June and 3 September to 23 September 1992. During the first period, cloud clusters in the Baiu-frontal zone were observed. Two typhoons were observed during the second period. Structure of convective clouds in cloud clusters during the Baiu season were analyzed.

Ten cloud clusters were observed during the Baiu season by the Doppler radars. Structure of convective clouds in eight cloud clusters were analyzed. Structure of convective cloud in cloud clusters was classified into four types based on the airflow and reflectivity pattern in vertical cross sections nearly normal to the orientation of convective areas. They are (Type 1) erect convection without anvil clouds, (Type 2) convection with anvil cloud on the front side, (Type 3) convection with stratiform region on the rear side which is triggered by surface westerly winds and (Type 4) mesoscale convection which is triggered by surface westerly winds.

Evolution and structure of the largest cloud cluster during the Baiu season which caused heavy rain in the island of Miyakojima were analyzed. This cloud cluster consisted of several smaller cloud clusters (SMCSs). SMCSs occurred on the windward side of the cloud cluster and decayed on the lee side. Seven SMCSs occurred and three of them caused heavy rain (174mm/day) in the island of Miyakojima. Two SMCSs which caused the heavy rain were composed of a strong convective-scale updraft and stratiform precipitation surrounded the convective precipitation (Type 3). The other SMCS contained a mesoscale updraft which organized weak convections in a band (Type 4). Although convection in this SMCS was weak, precipitation amount from this SMCS was not small because of the large width of the convective band.

1. 研究目的

暖かい海洋上に発生、発達する大規模雲域（水平規模～数百km：クラウドクラスター）は海面から大気へ供給された熱と水蒸気を上方に輸送する。この熱・水蒸気の輸送過程で水蒸気は凝結し、凝結した水の一部が降雨として海面に落ちることによって大規模雲域は正味に加熱される。この加熱は大規模雲域自体のエネルギー源であり、さらにはモンスーンや大気大循環を引き起こすエネルギー源でもある。本研究では大規模雲域内の対流雲の構造、対流雲と大規模雲域との相互作用を調べることににより熱・水・運動量の輸送過程及び降水過程の詳細を明かにし、アジアモンスーンの機構の解明に寄与することを目的とする。

2. 研究方法

本研究ではドップラーレーダー、オメガゾンデを中心とした研究観測によりデータを取得し、現業的に得られるデータを加えて解析を行う。対流雲構造の解析には主に研究観測データを用い、大規模雲域全体、およびその周囲の状況の解析には現業データを用いる。

観測は1992年5月23日から6月20日までおよび9月3日から23日まで南西諸島の宮古島で梅雨期クラウドクラスター内および台風内対流雲を対象に気象研究所と防災科学技術研究所共同で行った。気象研究所、防災科学技術研究所の共に3cm波ドップラーレーダーを図1のように島の南北（距離21km）におき、ほぼその中間に当たる宮古島地方気象台で地上、高層観測を行った。ドップラーレーダー観測は0.8–29.8度の12仰角のVOLUME SCAN（所要時間8分40秒）を主なモードとし、適宜RHI観測を行った。また高層観測は適宜行った。

解析にはこれらのデータのほか、宮古島レーダー、石垣島レーダーのスケッチ図、沖縄レーダーデジタルデータ、静止気象衛星データ、地上・高層天気図、沖縄気象台管内地上観測データを用いた。

3. 研究成果

観測された大規模雲域は梅雨期の大規模雲域と台風であった。解析は梅雨期の大規模雲域について行い、その全体的特徴を調べた。さらに最も活発であった6月10日の大規模雲域の構造と振る舞いを調べた。

(1) 観測された大規模雲域内対流雲の構造

梅雨期に観測された大規模雲域を表1に示す。8日間大規模雲域が観測された。このうち6月7日、9日、10日、14日、16日、18日の大規模雲域内対流雲の構造を解析した。10日には3個の大規模雲域が観測されているので、計8個の大規模雲域の解析である。

これら観測された大規模雲域内対流雲は線状または帯状に組織されていた。このためその走向にはほぼ直交する断面内のエコーの分布、ドップラーレーダー速度から推定される気流の分布から次のようにタイプ分けした。

- ① ほぼ直立した対流スケール上昇流で、周囲に層状性降水域を伴わない。
- ② 対流スケールの上昇流で、前方に層状性降水域を伴っている。
- ③ 下層の後方からの風と収束して対流スケールの上昇流ができています。後方に層状性降水域を伴う。
- ④ 下層後方からの風と収束してメソ上昇流ができています。その中に対流スケール上昇流を含んでいる。

それぞれのタイプの例と特徴を示す。①の例は14日である。背がそれほど高くない割にエコーが強い。②の例は9日、16日である。下層で後方からの寒気と収束しているが、これは対流雲自体の降水により生成し寒気と考えられる。③の例は7日、10日SMCS-C、E、および18日である。10日のSMCS-Eでは前方にも層状性降水域を伴っている。④の例は10日SMCS-Aである。③、④の下層後方からの風は前線にともなう寒気であると考えられる。

(2) 6月10日の大規模雲域の推移と構造

6月10日に宮古島で観測された大規模雲域は次々発生するクラスターの集合であった。それぞれのクラスターでは多くの場合南西―北東走向に対流が鎖状、線状、または帯状に並んでいた。全体としての停滞により宮古島、石垣島で豪雨となった。

①総観場

切離低気圧がシベリア（～9日）から朝鮮半島に南下し（10日）、その後東北東進した（11日～）。一方亜熱帯高気圧は強まりながら西進し、10日はもっとも西にあり、しかも強かった。10日09時には地上では梅雨前線が北緯30度付近の東シナ海から南西諸島を通り、本州南方に停滞している（図2）。また切離低気圧に伴う低気圧が朝鮮半島にある。宮古島付近では最下層に南から温かく湿潤な空気が入り、大気は潜在不安定であった。

②梅雨前線帯のクラウドクラスター

GMSの赤外画像によると9日から10日にかけては梅雨前線帯の雲帯（幅600km）は南西諸島から本州東方海上にかけて停滞しており、南西諸島と九州・四国の南方で対流活動が活発であった。特に南西諸島ではTBB<-75度のクラウドクラスターが観測されている。

③宮古島で観測されたクラウドクラスター

10日0時頃、西表島の西で発生したクラスターはやや東進しながら6時頃成熟期に達し、西端が西表島の西にはほぼ固定したまま10日21時まで停滞した。これには台湾の高い山脈と下層の南西風が関係しているかもしれない¹⁾。12～15時頃にはTBB<-40℃の領域が東西約500km、南北約300kmに達した。

石垣島および宮古島レーダーによるとこのクラスター（MCS）は1～数個のより小さいクラスター（SMCS）からなっていた（図3）。MCSはSMCSが次々に発生し順次入れ代わることによって維持された。ひとつの例外を除きSMCSはMCSの風上に発生し古いSMCSと合体した。このため全体として停滞した。

④宮古島における地上気象要素と高層風の時間変化

宮古島では強雨は3期間に降った（図4）。それぞれSMCS-A、C、Eに対応している。それぞれの最大10分間降水量は7.5、9.5、10.5mmであった。10日7時30分頃から降りはじめ、8時頃弱い対流性降水があった後、10時頃から強雨が始まり、13時頃まで続いた。14時40分頃から再び降りはじめ、22時頃やんだ。この間15時30分頃から18時30分頃までと20時10分頃から20時40分頃まで強雨がふった。

気温はまだ雨のふっていない5時頃から下がりはじめている。その後の強雨の期間中気温はほぼ一定（21.5-23.0℃）であった。

ドップラーレーダーVADによると宮古島では平均的に下層で南、上層で西の風が吹いている。降雨期間及びSMCSに対応して下層に北よりの風が観測されている。一方、中上層の風は南よりに変わっている。これらの風の変化は下層の収束（発散）、上層の発散（収束）を示唆している。

⑤宮古島において観測されたクラウドクラスターのメソβ、メソγスケール構造

ドップラーレーダーではSMCS-A、C、Eの対流性線状（又は帯状）エコーを観測した。これらの対流はそれぞれのSMCSの中心となるものであった。

(a) SMCS-A

SMCS-Aは対流性領域とそれを取りまく層状性領域からなる（図5）。対流性領域は南西→北東の走向のシアラインに沿ってできた。0.7km高度では風はシアラインの南東側では南西風であった。この風はシアラインのすぐ前方で南西から南に変わった。シアラインの北西側では北西風が観測された。強いエコーは0.7km高度のシアラインの北西側で観測された。高度1.5kmではシアラインは北西に約10kmの位置にあった。10時1分の対流域に直交する垂直断面内では中層に北西に向かう流れと下層、上層に南東に向かう流れ（の成分）があった（図6）。北西に向かう流れはメソスケール上昇流で、中に対流スケールの上昇流を含

んでいた（タイプ4）。このSMCSの対流性エコーは弱かったが、対流域の幅が広いので、降水量は他のSMCSと同程度であった。

(b) SMCS-C

SMCS-Cでは曲がりくねった対流性降雨帯が観測された。降雨帯は高度15 km以上に達していた。降雨帯にはほぼ直交する垂直断面内では降雨帯の前方高度1 km以下にバンドに向かう下層の流れがあった。この流れは対流スケール上昇流になった。層状性領域が北西側にあった。その中に北西～南東走向の幅の広い降雨帯があった。

(c) SMCS-E

SMCS-Eは広い層状性エコーとその中に南北に伸びる線状の対流性エコーから成る（図7）。線状エコーの前方の層状性エコー域では線状エコーに近くなると下層では風に西向きの成分が増える。後方の層状性領域では下層で西風である。これらの流れの間の下層収束が線状対流域を維持している。線状対流域に直交する垂直断面内では周囲の風の中に対流スケールの上昇流がある（図8、タイプ3）。

4. 考察

前年度に引き続きアジアモンスーン域内の大規模雲域の観測を沖縄県宮古島で行った。今年度観測された大規模雲域は梅雨前線および台風に伴うものであった。今年度は梅雨期の大規模雲域の解析を行ったが、前年度まで台風および弱い熱帯低気圧以外の大規模雲域のデータが得られていなかったためである。今年度の観測は防災科学技術研究所との共同観測であったため、対流雲内の風の構造がうまくとらえられた。

しかしながら今回の観測にも問題点はあった。第1に両レーダーとも波長が3 cm波帯であるため、注目すべき活発な対流では強い降水域より遠方が観測できなくなることが頻繁に起きた。第2に両レーダーの距離が21 kmと短いため精度良く解析できる範囲が狭くなった。第1の点は電波による制約である。第2の点は平坦でドップラーレーダー観測に向いているが、狭いという宮古島の地理的条件のため、やむをなかった。今後の大規模雲域内対流雲の観測を考えると、降雨による減衰の少ない5 cmまたは10 cm波帯ドップラーレーダーとの共同観測が望ましい。

今年度で前期沖縄県での観測が終了した。3年間の観測で台風と梅雨というアジアモンスーン循環の北東側周辺域の現象が観測できた。来年度はドップラーレーダーデータをもとに熱、水蒸気、運動量の垂直輸送に関連する垂直速度の解析を行うとともに、前期に観測された大規模雲域を総合的に解析し、成果を取りまとめる。

5. 引用文献

1) Kuo, Y.-H., and G.T. J. Chen, 1990: Taiwan Area Mesoscale Experiment: An Overview. Bull. Amer. Meteor. Soc., 71, 488-503

6. 成果の発表

①口頭発表

発表者	発表題名	発表誌名等	発表年月	備考
H. Sakakibara, A. Tabata, Y. Yamada, H. Iwasaki and S. Nakai	Evolution and structure of a mesoscale convective system in the Baiu-frontal zone	International Symposium on Asian Monsoon, Tsukuba	1992.9	

田畑 明 山田芳則 岩崎博之 榑原 均 中井専人	梅雨前線帯に発生した 中規模対流系の変化と 構造	日本気象学会 1992年秋季大 会	1992.10	
--------------------------------------	--------------------------------	-------------------------	---------	--

7. 関係国との協力
特になし。

表1 宮古島で梅雨期に観測された大規模雲域
Table 1 Cloud clusters observed during the
Baiu season in 1992 in the island of
Miyakojima.

Date	L km	W km	H km	T hr	Distur bance
5.26	>400	200	8.0	>9	None
6. 5	300	100	12.5	>9	Front
6. 7	>450	50	14.0	>24	Front
6. 9	350	100	14.0	>9	Front
6.10	400	100	14.5	>20	Front
6.14	200	200	8.0	>6	Front
6.16	>500	50	13.5	>12	Front
6.17	>400	100	14.0	24	Front

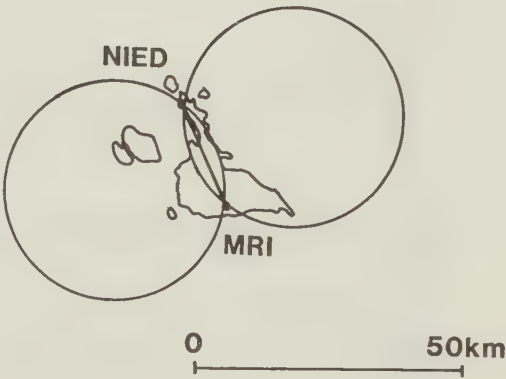


図1 宮古島におけるレーダーの配置
と観測範囲。
Fig.1 Radar sites in the island of
Miyakojima and observation domain.

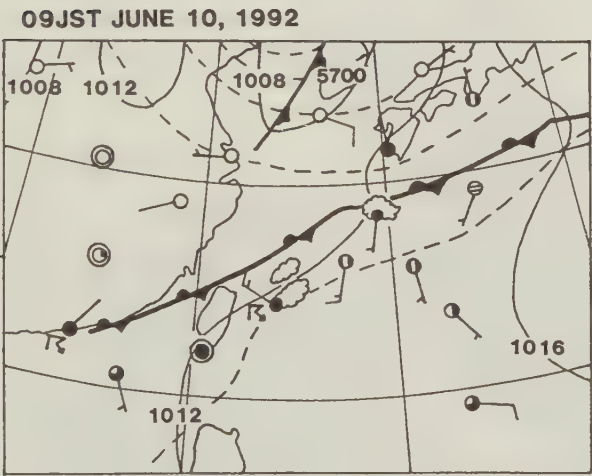


図2 1992年6月10日9時の天
気図。TBBが-50℃以下の領域に
スカラップしてある。
Fig.2 A synoptic chart for 09JST on
June 10, 1992. Regions with TBB<
-50C are scalloped.

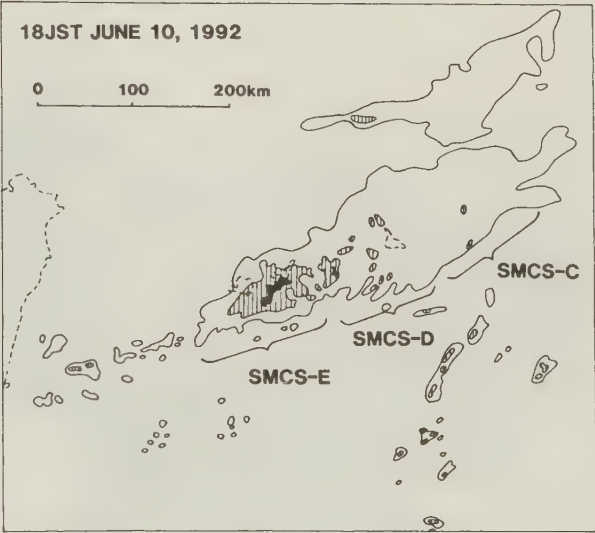


図3 6月10日18時の宮古島、石
垣島レーダーによる合成エコー図。
Fig.3 Composite echo map for 18JST
on June 10 observed by the Miyako-
jima and Ishigakijima conventional
radars.

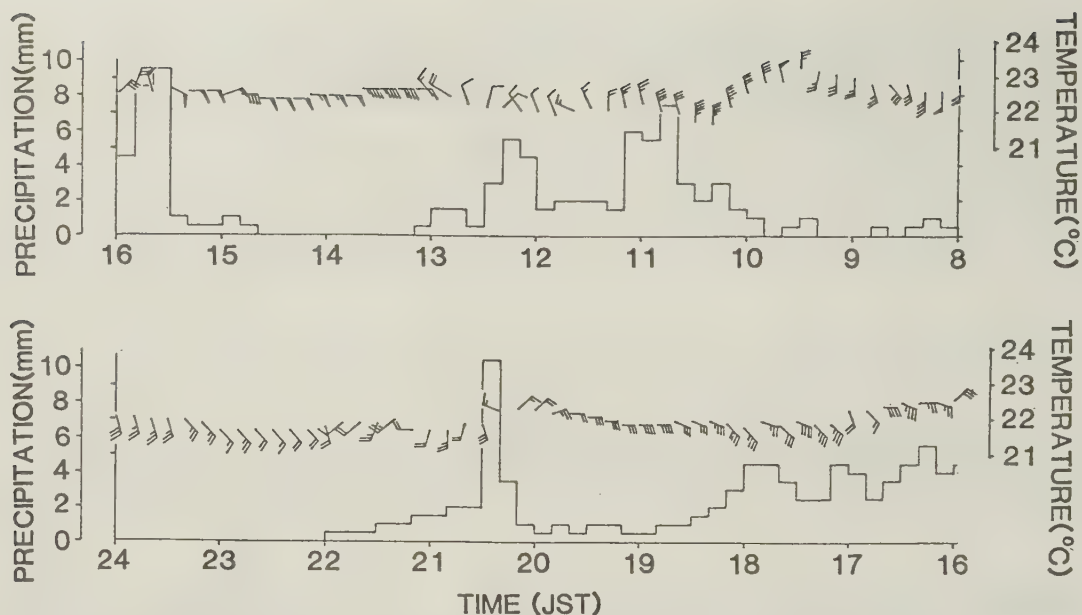


図4 6月10日に宮古島地方気象台で観測された10分間隔の降水量、気温および風。

Fig.4 Precipitation amount, temperature and wind observed every 10 minutes at the Miyakojima Local Meteorological Observatory.

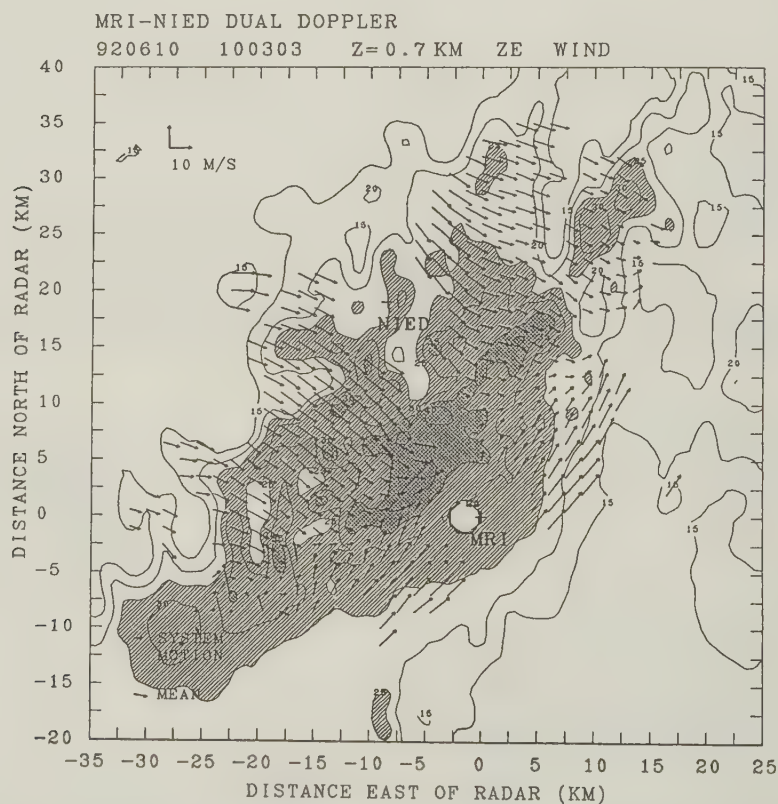


図5 高度0.7 kmにおける反射強度と風の場合(6月10日10時3分)。等値線は15 dBZから5 dB毎に引いてある。

Fig.5 Fields of ground-relative wind with reflectivity contours at the 0.7-km level at 1003 JST on June 10, 1992. Contour interval is 5 dBZ starting from 15 dBZ.

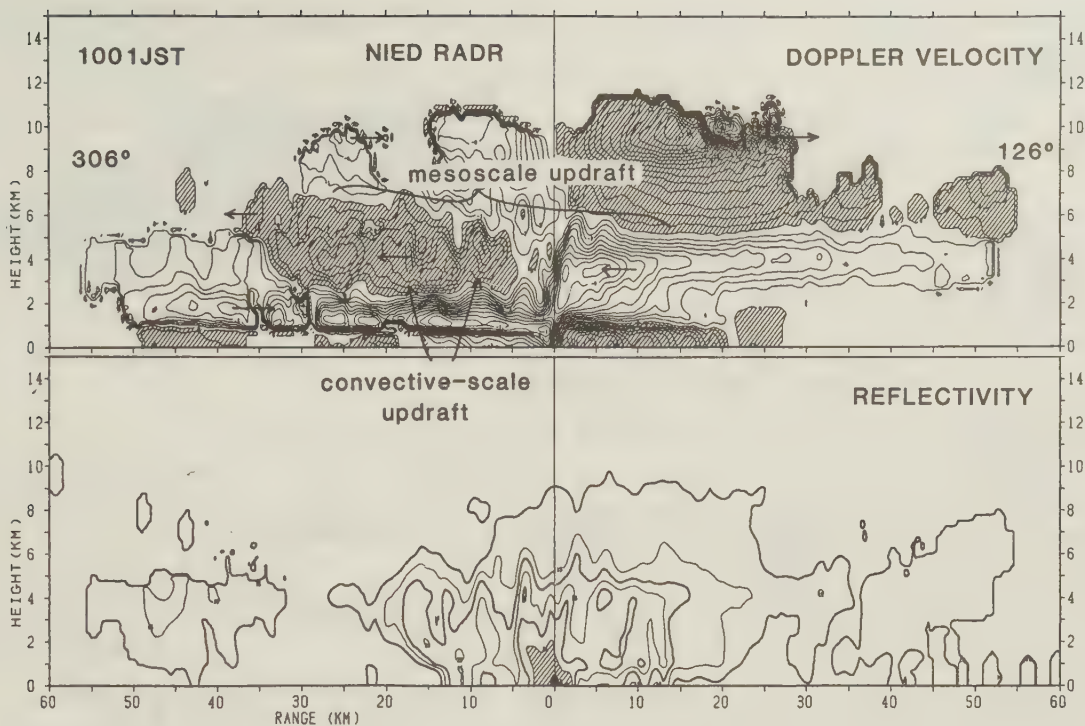


図6 防災科学技術研究所 (NIED) レーダーによる $306^{\circ}-126^{\circ}$ の垂直断面 (6月10日10時1分)。反射強度の等値線は 10 dBZ から 5 dB 間隔。 35 dBZ 以上の領域に影をつけた。ドップラー速度から推定される水平風の向きを矢印で示す。

Fig.6 Vertical cross sections along the $306^{\circ}-126^{\circ}$ radial from the NIED radar. Estimated directions of horizontal winds are indicated by arrows. Contour intervals of Doppler velocity and reflectivity are 1 m/s and 5 dB starting from 10 dBZ , respectively.

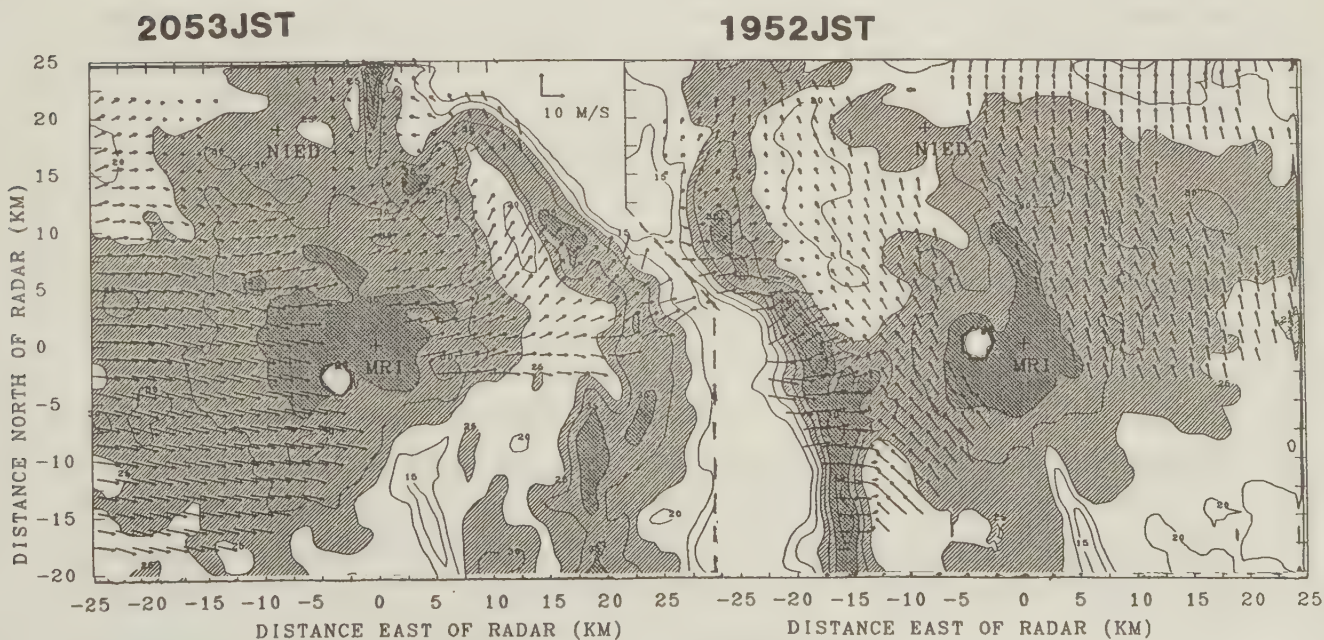


図7 図5と同様、ただし19時52分と20時53分。

Fig.7 As in Fig.5, but for 1952 JST and 2053 JST.

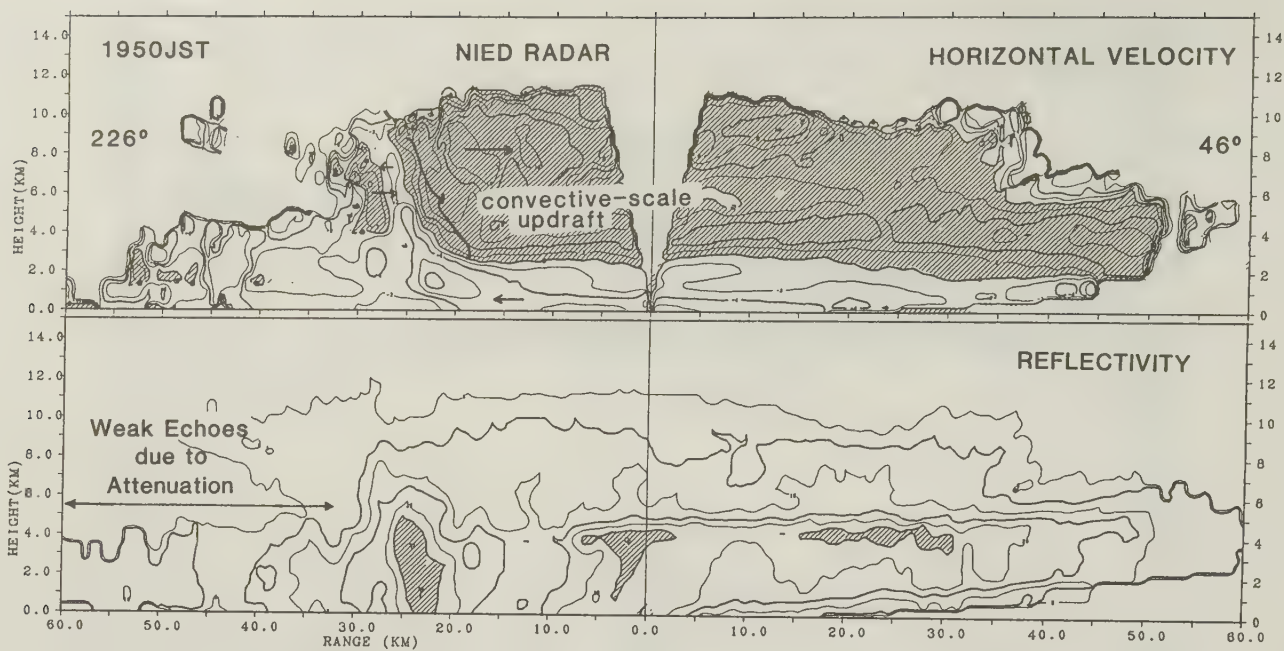


図8 図6と同様、ただし19時50分で226°-46°断面。
 Fig.8 As in Fig.6, but for 1950 JST along the 226°-46° radial.

1. 大気を媒体とした海陸相互作用及び長周期変動に関する観測・解析研究

Study on Air-Sea-Land Interactions and their Long Term Variations

(2) 大気・陸面に関する観測研究

Observational Study on Air-Sea-Land Surface Interactions

③ 大規模雲域内の対流雲構造に関する観測研究

Observation on Convective Cloud in Cloud Clusters

科学技術庁防災科学技術研究所

中井専入・真木雅之・大倉 博

National Research Institute for Earth

Science and Disaster Prevention (NIED),

Science and Technology Agency

S.Nakai, M.Maki and H.Ohkura

(Abstract)

Observations of precipitating convective clouds were conducted using two Doppler radars (Meteorological Research Institute (MRI) and NIED) and omega sonde (MRI) at Miyako island. The purpose is to investigate the kinematic and thermodynamic structure of the subtropical convective clouds embedded within the large cloud system. The observation period was from May 25 to June 20, 1993, and from August 21 to September 23, 1993. NIED Doppler radar was operated by hybrid automatic scanning including volume scans synchronized with MRI-3cm Doppler radar every 8'40", RHI scans and high resolution vertical pointing sampling.

A variety of convective precipitation was observed by the Doppler radars. The cases include non-organized precipitation, strong convective rainbands whose echo top reached up to 15km, and echoes appeared only less than 5km level that were possible warm rain. The convective rainbands showed characteristic radial velocity pattern and they coexisted with low-level wind shear.

The 3-dimensional (3D) vector wind field and the reflectivity factor distribution analyzed at MRI was displayed 3-dimensionally using computer graphics. Although current version of the 3D scalar and vector field display is yet to be refined for the data analysis, it will be an effective method to analyze the Doppler radar data.

Introducing satellite data is needed to evaluate the observed cases in the large cloud system, and the development of more analysis methods is needed for the Doppler radar data. So, it is considered that we must limit the methodology of investigation of this part (NIED) only to the data analysis during the latter half of the project period.

1. 研究目的

大規模雲域内の降水をともなう対流雲を、気象庁気象研究所（以下MRIと書く）と共同で、測風機能を持つドップラーレーダー（MRI、NIED）とオメガゾンデ（MRI）により3次元的に観測し、対流雲内部および周囲の気流、気温、湿度、雨滴分布等を調べる。さらに、デュアルドップラーレーダーにより観測された雨水量分布、気流構造等を3次元的に動的表示し、観測された対流雲が大規模雲域とどのように相互作用しているか調べる。

2. 研究方法

①観測準備

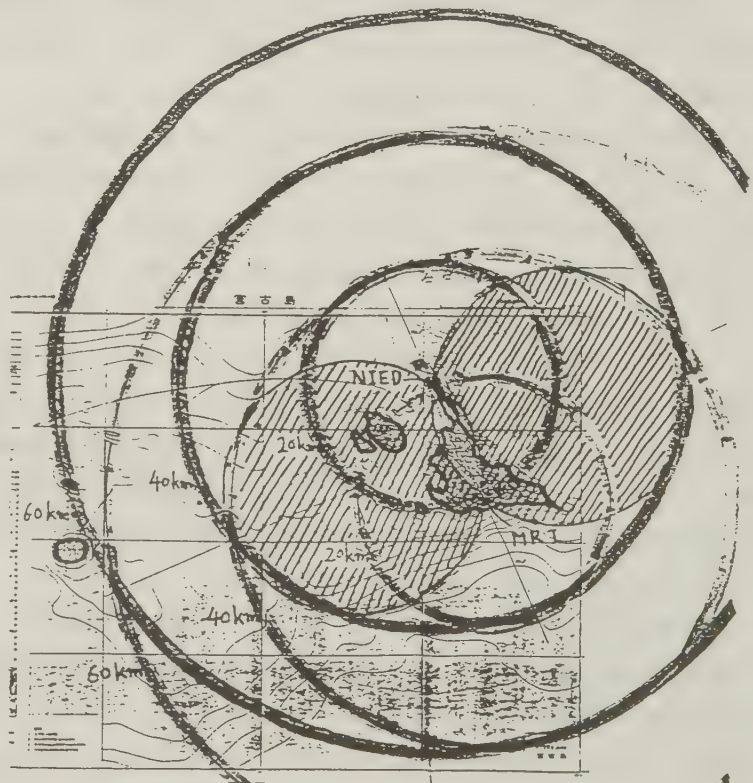
宮古列島においてデュアル観測のための観測地点の選定を行った。また、長期間の観測、強風、塩害に備えるため、ドップラーレーダーの小規模な改修を行なった。

②現地観測

選定した観測点に可搬型ドップラーレーダーを設置し、大規模雲域の接近時に対流雲の観測をMRIと共同で実施した。NIEDドップラーレーダーとMRI 3cmドップラーレーダーの2台を使用して3次元走査毎に同期を取ったデュアル観測を行った。同時に、3次元走査を補完するデータを取得するため、RHI走査および高分解能の鉛直固定観測も行った。2台のレーダーの配置を図1に示す。レーダーの基線長は約21kmである。待機を含む観測期間は、1993年5月25日～6月20日、および8月21日～9月23日であり、このうち大規模雲域の接近時に観測を行った。

③観測データの3次元表示

三次元画像処理表示装置（既存）を利用し、デュアル観測データを使用してMRIで計算された風速3成分および反射強度について、試験的な3次元表示を行った。



MRI：気象研究所ドップラーレーダー

NIED：防災科学技術研究所ドップラーレーダー

3. 研究成果

2台のドップラーレーダーを同期させたデュアル

図1

Fig.1

ドップラーレーダーの配置と観測領域。デュアル解析による風速値は斜線部で精度が良い。

The Doppler radar observation sites and the radar coverage. Preferred area for dual-Doppler analysis is hatched.

観測により、対流雲の3次元的な気流構造を精度良く求められるデータの取得に成功した。データ量は、2400ft、6250BPI の磁気テープが51巻、クイックルック用のビデオテープ（6時間収録）が28巻である。

組織化されていない降水、エコー頂15kmに達する線状の激しい対流性降水、および暖かい雨と思われるエコー頂5km以下の降水等、アジアモンスーン域におけるさまざまなタイプの対流雲の降水についてのデータが得られた。

対流雲による降水のタイプの一つ、線状降水の観測例を図2(a)に示す。この降水は梅雨前線帯に伴う大規模雲域内で組織化された降水である。線状のエコーがレーダーの西約20kmにあり、10m/s以下の速度で北北東から北東へ移動している。ドップラー速度には特徴的な風系が表れており、この降水が強い下層のシアを伴っていることがわかる。なお、この事例については田畑他(1992)がデュアルドップラー解析を行っている。



図2 1992年6月10日20時頃に観測された線状の降水。半径60kmのPPIで示す。(a):レーダー反射強度(降水強度に相当する)。(b):動径速度。
Fig.2 An example of the observed rainband shown by PPI display. Range marking is 15km interval. (a): radar reflectivity factor (rainfall intensity). (b): radial velocity.

3次元表示については、データ変換を行うためのソフトウェア整備により試験的な3次元表示結果を得ることができた。表示内容は等高度断面の多層表示、および風速ベクトルの3次元的な分布と高度1kmにおける反射強度分布との重ね合わせ等である(図3)。既存の3次元画像処理表示装置(32MIPS)では処理速度が不足したため、データを大幅に間引いて表示を行った。

4. 考察

気象研究所で作成されたデータの防災科学技術研究所計算機システムへの読み込み、3次元画像処理表示装置での論理的誤りのない読み取りなど、データ交換に伴う問題が多く発生し、それらの解決にかなりの時間を必要とした。計算機環境の共通化が望まれるところであるが、この点については最近の計算機技術の進歩およびOSの共通化の動きによって、近い将来ある程度解決されるものと思われる。

レーダーデータに対するコンピューターグラフィックスを用いた客観的な3次元表示としては、スカラー量について等値面のボリュームレンダリングと断面の階調表示とを組み合わせたものがあり(Fujiyoshi et al., 1991; 真木ほか, 1992)、この手法によって初めて見つかった現象があることも報告されている。これに対して、図3(b)は風速ベクトルの3次元表示をドップラーレーダーデータに適用するものである。現在の3次元表示結果

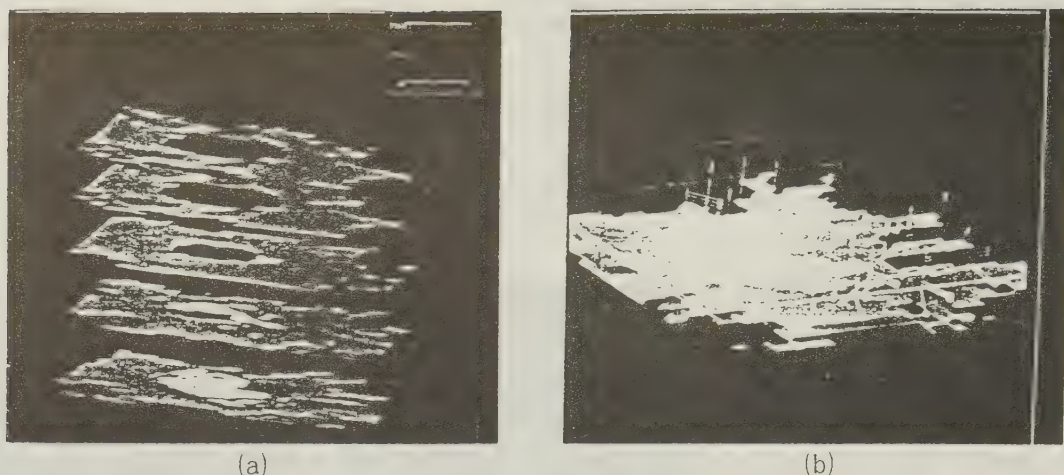


図 3 3次元表示の例。表示処理速度の制約のため、データは水平1.5km間隔×5層(配列の大きさは51x51x5)に間引いてある。(a):等高度断面の多層表示(反射強度)。(b):高度1kmの反射強度の水平分布とデュアル解析による風速ベクトルの3次元分布の重ね合わせ。

Fig.3 Examples of 3-dimensional display. The resolution of the data is reduced to 1.5km (The array size is 51x51x5). (a):A multi-layered CAPPI image (reflectivity). (b):Reflectivity at the height of 1km and the vector wind field derived by dual-Doppler analysis.

は、現象の解析を行うためにはまだ改良が必要である。しかし、処理速度、見易さなどの問題を解決すれば、ベクトル場の3次元表示はスカラー量の3次元表示以上に有効な表示解析手法になると思われる。

ドップラーレーダーデータの解析は3次元表示以外にも手法の開発を伴うためかなりの時間を必要とする。従って、この点を考慮しかつ観測と解析のバランスの取れた研究計画が必要である。また、レーダーの観測範囲は数十kmであり、その中の現象を大規模雲域の中で正確に位置付けるためには衛星データを併用することが不可欠である。従って、後期においては衛星データを併用した解析に専念することにより現象を総合的に解明することが成果をまとめるために必要である。

観測地点選定及び現地観測においては、宮古島地方気象台はじめ気象庁、気象研究所の方々に大変お世話になりました。記して感謝致します。

5. 引用文献

Fujiyoshi, Y., M. Ohi and G. Wakahama, 1991: Three-dimensional display of radar echoes using the technique of marching cubes. J. Atmos. Oceanic Tech., 8, 869-872.

真木雅之・大倉博・御子柴正, 1992: ドップラーデータ処理への3次元コンピューターグラフィックスの利用. 防災科学技術研究所研究報告, No.49, 53-64.

田畑明・山田芳則・岩崎博之・榊原均・中井専人, 1992: 梅雨前線帯に発生した中規模対流系の変化と構造. 日本気象学会大会予稿集, No.62, A352.

6. 成果の発表

① 口頭発表

発表者名	発表題名	発表誌名等	備考
田畑明・山田芳則・ 岩崎博之・榑原均・ 中井専人	梅雨前線帯に発生 した中規模対流系 の変化と構造	日本気象学会講演予稿 集, 62, A352. 1992年10月7-9日. 札幌市.	気象研究所研 究者の発表に よる共著

Data Directory

- 1.Directory Entry Title
Miyako92 (NIED)
- 2.Directory Entry Start and Stop Date
start: January, 1996
- 3.Sensor Name
Doppler radar
- 4.Source Name
original data of the special observation
- 5.Investigator, Technical Contact, and Author
NAKAI, S (NIED)
- 6.Data Center
NIED (Investigator)
- 7.Originating Center
NIED (Investigator)
- 8.Campaign or Project
JEXAM
- 9.Storage Medium
6250BPI, 1/2inch magnetic tape
- 10.Parameter Measured
radar reflectivity factor, mean Doppler velocity, Doppler velocity
variance
- 11.Discipline Keywords
Asian monsoon, subtropical precipitation, mesoscale, radar
- 12.Coverage
within 64km radius centered at 24' 54'N, 125' 16'E
- 13.Location Keywords
Miyako, Okinawa, Japan
- 14.General Keywords
Subtropical Rainfall

15.Revision Date

Date of Observation

16.Science Review Date

None

17.Future Review Date

None

18.References

None

19.Summary

Conditions for data access are:

Documentation of the data source at the presentation or publication on the work in which the data is used;

The user must have sufficient knowledge about the Doppler radar and the Doppler radar data;

and

Within the capacity of the data center and the investigator.

Access to the data may be limited by the data center or the investigator.

1. 大気を媒体とした海陸相互作用及び長周期変動に関する観測・解析研究

Study on Air-Sea-Land Interaction and their Long Term Variations

(3) 衛星データの解析研究

Analytical Study on Satellite Data

① モンスーン循環広域条件及び雪氷変動状況に関する解析研究

Analysis on Environmental Conditions and Snow-Ice Cover Changes Affecting to Monsoon Cycle in Asia

科学技術庁防災科学技術研究所

矢崎 忍、中根 和郎、諸星 敏一、中尾 正義、幾志 新吉

National Research Institute for Earth Science and

Disaster Prevention, Science and Technology Agency

S.Yazaki, K.Nakane, T.Morohosi, M.Nakao, S.Kishi

(Abstract) The mode of Asian monsoon activities is said storongly affected by environment al conditions of the area especially SST of Indian ocian and snow-ice cover over the cont inent. The purpose of this study is to make clear the relation between them mainly by analyzing satellite data.

Our method for the purpose is;

(1) To make regional satellite image date base covering whole Asian area with NOAA/AVHR R data in a regular period(one in week).

(2) To establish algorithms to detect various air, sea and land conditions with the satel lite image data.

(3) For special issues such as snow-ice cover in Tibetan-Himalayan area, sea ice in the Sea of Okhotsk or air water content over ocians, another adequate satellite data wil l be adopted for precise analysis.

This year's results are as following.

(1) An algolithm to detect snow covered area from regional satellite image data is developed. Clouds are removed by taking difference between two images of different time. By using several image data almost all clouds are removed.

(2) An method to make cloud free snow-ice image with LANDSAT/TM data are verifed with the image of Himalayas. The method is found adoptable to estimate exact distribution and area of snow-ice covers by unifying with another data such as topographical or meteological informations.

(3) Collection of LANDSAT data of Himalayas area since the first launch of the satellite is started to investigate long term variation of Himalayan glaciers. From those images change of crevasse lake on Himalayas Khmbu Glacier over the term is recognized.

1. 研究目的

アジアモンスーンの変動はインド洋、西太平洋の海水温、ユーラシア大陸の積雪面積と深く関わっていることが指摘されており、またモンスーン活動によってもたらされる降水は災害、水資源、植生活性度に大きく関係する。本研究ではアジアモンスーン地域を対象として、モンスーン循環活動に関わる各種環境条件（海面水温、地表面温度、積雪、海水、植生指標、雲頂温度、大気水分量等）の分布状況を各種の地球観測衛星データを用いて検出し、時系列的なデータベースとして整備するとともに、それらを用いて環境条件とモンスーン循環変動との関係を明らかにする。

2. 研究方法

(1) アジアモンスーンの変動に大きく影響すると考えられるインド洋、西太平洋、ユーラシア大陸を含む東経 $30^{\circ}\sim 160^{\circ}$ 、南緯 $20^{\circ}\sim$ 北緯 60° の範囲を解析対象領域として、この領域をカバーする衛星画像を幾何補正、モザイク合成した広域衛星画像を一定期間（7日）毎に作成する。この衛星画像データから前記の各種環境条件を検出する手法を開発し、それを用いて環境条件を画像化する。この目的のためには可視、近赤外、熱赤外バンドのセンサーを有し、しかも当該領域をカバーすることが不可欠であり、この条件に合うデータで現在利用できるものとしてNOAA/AVHRRを用いる。

(2) アジアモンスーンの変動に影響が大きいチベット・ヒマラヤ地域の雪氷分布を分解能の高いLANDSAT/TM, MOS-1/MSSRを用いて詳細に解析する。

(3) 海洋上の大気水分量、雲水量をMOS-1/MSRを用いて解析する。

(4) オホーツク海の海水分布をMOS-1/VTIR, MSRを用いて解析する。

(5) 以上のような各種環境条件画像を長期間にわたって整備し、その季節変動、経年変動を解析する。さらにこれらの環境条件とモンスーン循環の変動、特に降水量との関係を明らかにする。

3. 研究成果

(1) 広域衛星画像を用いた広域積雪分布の検出

NOAA/AVHRRには可視から熱赤外までの5つのチャンネルがあり、雲のない領域では積雪域と非積雪域ではいずれのチャンネルについても反射ないし放射輝度が大きく異なるので両者の区別は容易である。問題は雲と雪の区別であるが、一部の雲はAVHRRのすべてのチャンネルにおいて積雪と同じ輝度を示し、したがってこれらの雲は積雪と区別できない。そこで、ここでは7日から半月ほど時期の異なる2～3シーンの画像を用いて雲域を取り除くことを試みた。すなわち、この期間では積雪域はあまり変化しないと仮定し、一方雲は変化しやすいのでその違いを利用する方法である。

まず画像の目視により、あるいはLANDSAT/TM（写真）を参考にして積雪域を確認し、そこでの各チャンネルの輝度のレンジを求める。ここではチャンネル1（可視）とチャンネル4（熱赤外）を用いた。各画像から積雪域と同じスペクトルを示す領域を取り出し、この領域について時期の異なる2つの画像の差を求め、その値が一定値以下の領域を積雪域と同定する（図1）。この方法により大部分の雲は取り除けるが、まだいくらかの雲が積雪域として検出されてしまう。また逆にこの方法によると、いずれか1つの画像で雲に覆われている領域は他の画像では積雪が確認されても、積雪として検出されないという問題がある。これらの点を今後改良していかなければならない。

(2) LANDSAT/TMによる雪氷分布の検出

LANDSAT/TMには7つのバンドがあるが、バンド5を除いた他のバンドではやはり雲は積雪と区別は困難である。しかし、バンド5 ($1.57\sim 1.78\mu\text{m}$)では雪面からの反射が雲からの反射に比べて著しく小さく、したがってバンド5を用いることにより比較的容易に雲と雪の区別ができる。したがって例えばバンド2(可視)とバンド5を組み合わせることにより積雪域が検出できる。

これをヒマラヤのクンプ氷河付近の画像について確認した(図2)。これによりこの方法が雪氷分布およびその面積を精密に求める際の1つの手段として有効であることが確認できた。しかし、この方法によっても雲に覆われた地域の雪氷域は検出できないので、他のデータ-LANDSAT/MSS, MOS-1/MESSR等の他の衛星データ、標高等の地理情報、気温等の気象データを併用することが必要である。

(3) エベレスト周辺の氷河の長期変化の解析

LANDSAT衛星が打ち上げられてから20年近くなり、この間のデータを用いて氷河の経年変化が調べられるようになってきた。そこでクンプ氷河を中心とした地域のLANDSATデータの収集と解析を開始し、これまでCCT約10画像と写真約10画像を収集した。これらのデータの目視によって、氷河上の湖(氷上湖)の変動が確認できた。詳細な解析は現在継続中である。

4. 考察

広域積雪分布は1月間の4～5画像を用いて作成すれば雲の影響をほとんど除く湖とができる。この1月に1画像の頻度は季節変化および経年変化を見るには一応十分である。

現在の検出手法は主にチベット・ヒマラヤ地域を対象にしているので、この手法が他の地域、特に高緯度の地域にもそのまま適用できるかどうかを検討し、問題があればすべての地域に適用できるように修正する必要がある。

5. 引用文献

なし

6. 成果の発表

なし

7. 関係国との協力

中国国家気象局衛星気象中心との協力を行っている。本年度は同中心より4名の研究者が来訪し、日中シンポジウムに参加し、また当研究所との共同研究に関する協議を行った。また、本項目の研究分担者が1名同中心を訪問し、衛星画像を用いた中国東北部の積雪深の解析に関して共同で検討した。

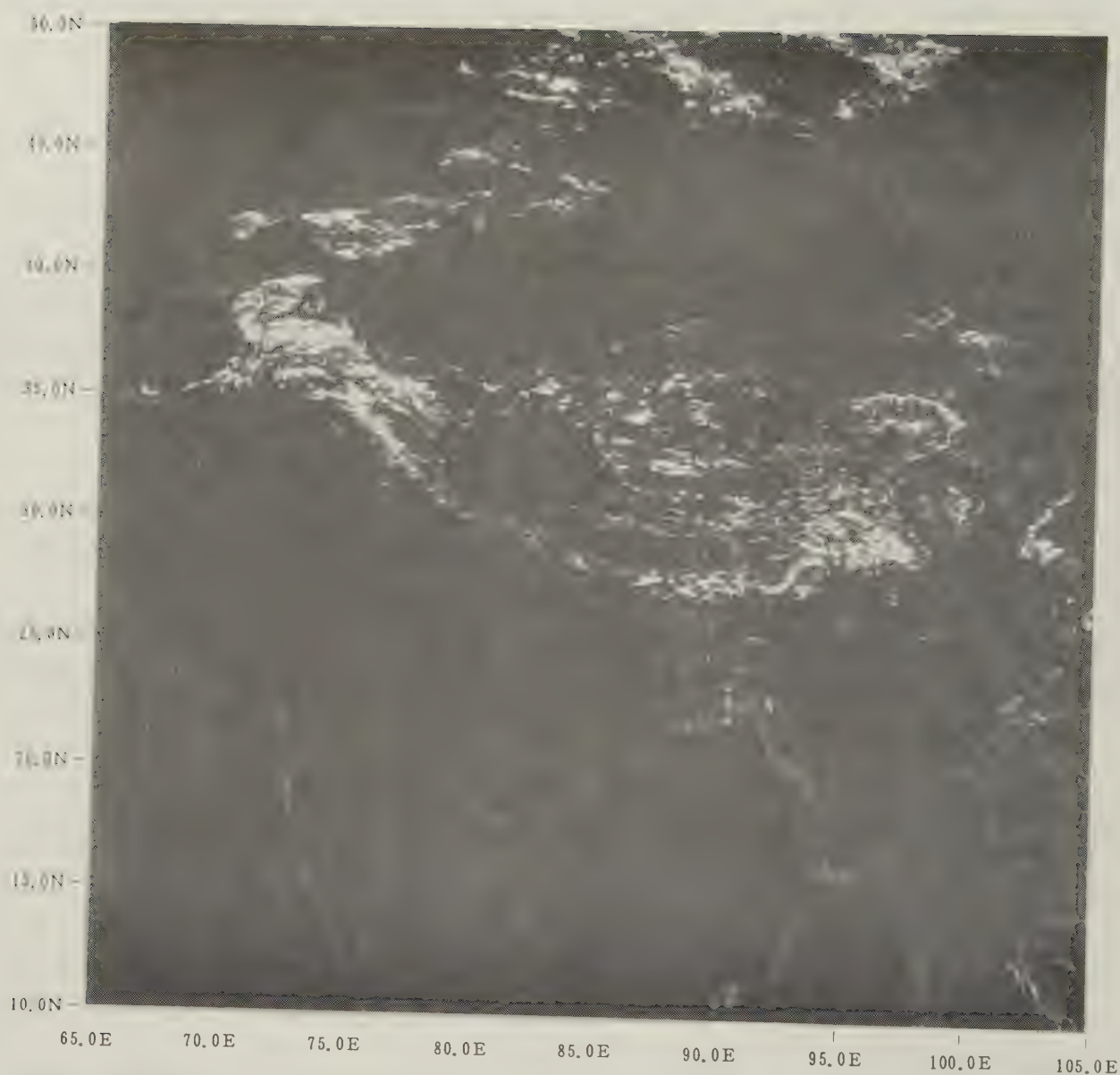


図1 チベット・ヒマラヤ地域の広域積雪分布

Fig.1 Detected snow coverd area over Tibetan-Himalayan region

1989.11.20と11.28の2つの画像を用いて雲を除去したもの

Clouds are removed by using 2 images of Nov.20 and Nov.28 in 1989

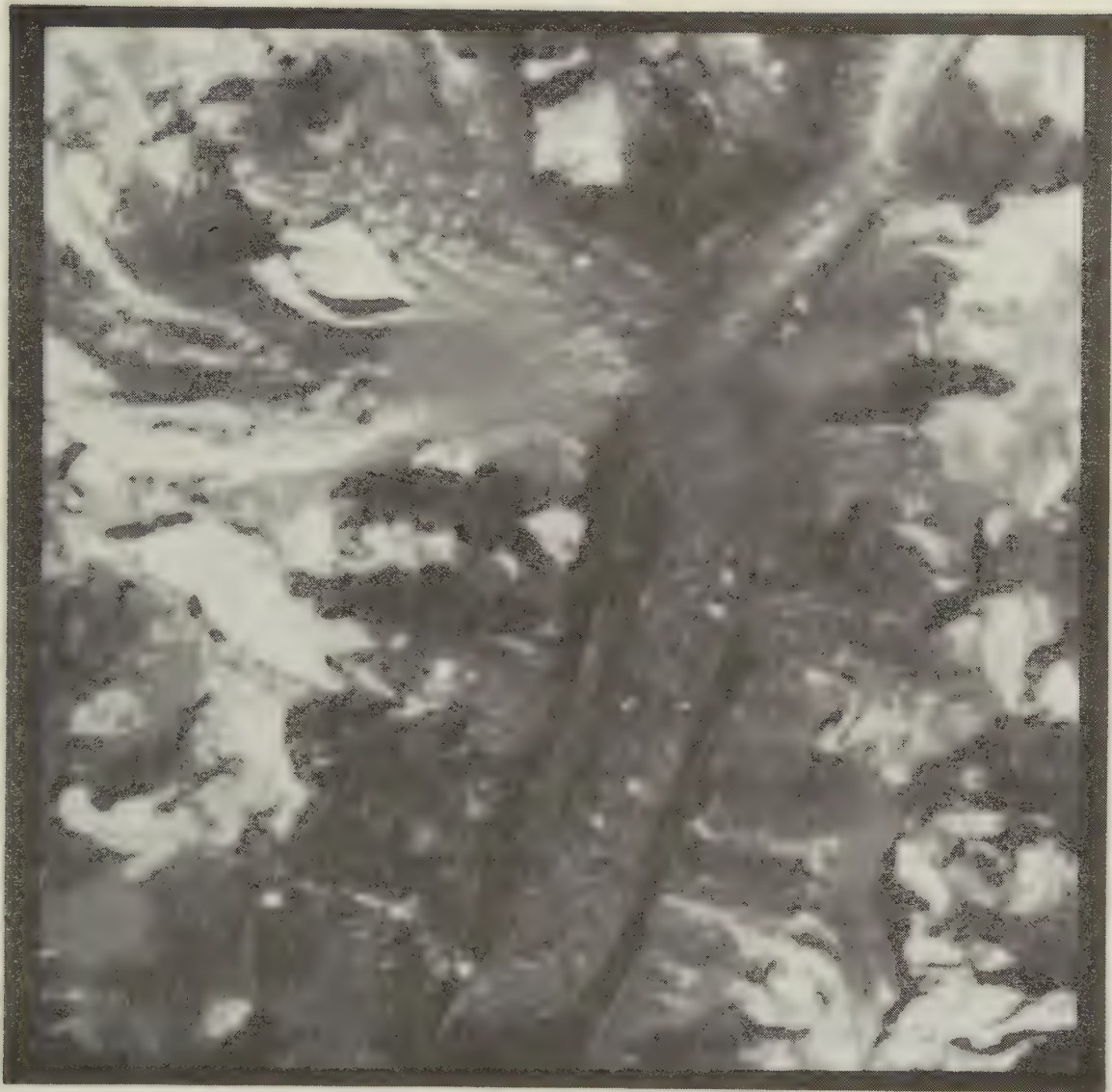


図2 クンブ氷河付近の1988.4.12のTM画像から求めた雪氷分布（バンド2とバンド5の差画像）
Fig.2 Snow-ice distribution around Himalayas Khumbu Glacier detected with TM image
on Apr.12,1988

図中央の暗い円形部は雲であるが差をとることにより雪氷（周辺の白い部分）と区別できる
Cloud is removed by subtracting band 5 from band 2

1. 大気を媒体とした海陸相互作用及び長周期変動に関する観測・解析研究

Study on Air-Sea-Land Interactions and their Long Term Variations

(3) 衛星データの解析研究

Analysis of Satellite Data

② 大規模大気・海洋変動に関する解析研究

Analysis of Large-Scale Atmosphere/Ocean Variations

気象庁 気象研究所

村上 勝人、井上 豊志郎、山崎 信雄、中澤 哲夫

岡村 博文、高橋 清利、佐々木 秀行

Meteorological Research Institute,

Japan Meteorological Agency

M. Murakami, T. Inoue, N. Yamazaki, T. Nakazawa,

H. Okamura, K. Takahashi, H. Sasaki

(Abstract)

This study aims at revealing the large scale features of the Asian Monsoon by using combined INSAT-GMS IR dataset and the objective analysis data. This combined dataset consists of one degree square mesh mean TBB data observed by 3 hourly, and covers for 40°E-160°W in longitude and for 60°N-60°S in latitude.

The latitude-time section for 70°-80°E and the longitude-time section for 5°N-5°S of 30-50 day filtered anomalies of TBB shows that distinctive northward movements of cloud zones are repeated by about 40 days and simultaneously cloud systems migrate eastward along the equator over the Indian sector. The horizontal distribution of 30-50 day filtered anomalies of TBB at the beginning of June 1991 shows that this monsoon cloud zones has the very large scale structure from the Arabian sea to the equatorial western Pacific with the slight inclination from the northwest to the southeast.

The northward movement of the monsoon cloud zone over the Indian sector is understood as a result of the eastward migration of this system. Some disturbances that are known as monsoon depressions have been found among this cloud system.

Convective activity over south India and sea surface temperature (SST) over the Arabian Sea are evaluated using split window data. Convective activities derived from split window show intraseasonal and interannual variations which correspond to rainfall observations over the south India. A gradual fall in SST off the Somalia is seen with time for the years 1986, 1987 and 1988, but the fall in 1986 and 1988 is rapid and deep while the fall in 1987 is gradual and shallow. This fall in SST corresponds to the strength of low level monsoon westerly. The stronger monsoon westerly corresponds to the stronger convective activity over India. In 1986, the fall in SST off the Somalia implies the stronger monsoon westerly but the cooler SST over the eastern part of Arabian Sea causes the deficiency in rainfall over the south India.

1. 研究目的

本研究の目的は南アジア、東アジアおよび西太平洋域におけるモンスーンの大規模な雲域変動等の様相を季節内変動、インド洋域と西太平洋域との相互作用などの観点から静止気象衛星による赤外資料および高層観測資料を用いて明らかにすることにある。また衛星データから降水活動や海面温度、水蒸気量を推定する技法を開発・応用し、モンスーンに伴う大気-海洋変動の特徴ならびに相互の関連を明らかにする。

2. 研究方法

前年度作成した、1991年5月～9月のINSAT-GMS結合赤外データを用いて、夏季アジアモンスーンに伴う大規模雲域変動の解析を行った。まず、スペクトル解析により時間的な変動特性を調べた。また、バンドパスフィルターを用いて、特に、いわゆる季節内変動スケール（30～50日）での変動の様相を調べた。

またSplit Window ($11\mu\text{m}$ と $12\mu\text{m}$)を用いて、降水と密接に関連する光学的に厚い積雲系の雲を客観的に判別・抽出して、インド洋・西太平洋域における対流活動を評価する。さらに晴天域については海面温度および水蒸気量の指標を算定し、これらの分布および変動の特徴を解析し、モンスーン活動との対応を調査した。

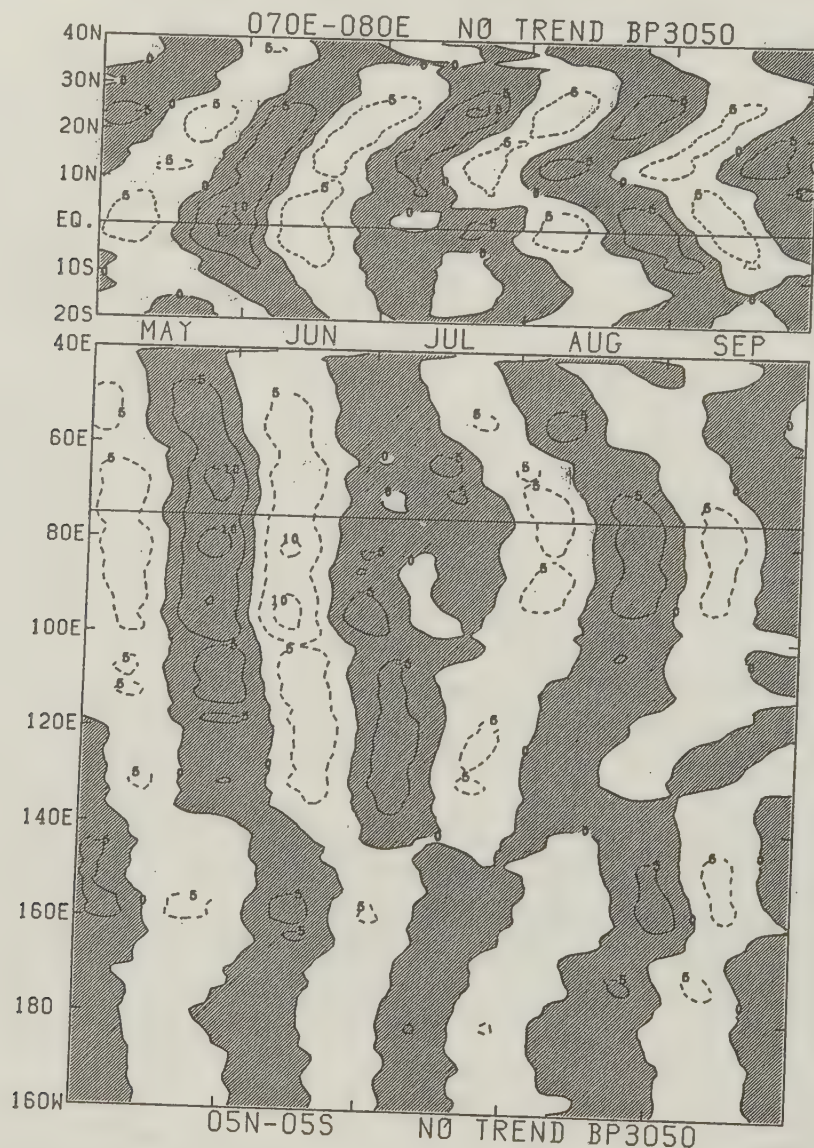


図1 30～50日バンドパスフィルターをかけたTBBアノマリーの70E～80Eにおける緯度時間断面（上）及び5N～5Sにおける経度時間断面図（下）。等値線は5K毎。実（破）線はゼロ及び正（負）偏差。斜線域は負偏差域を示す。

Fig. 1 Time-latitude section for 70E-80E (upper panel) and time-longitude section for 5N-5S (lower panel) on the basis of 30-50 day bandpass filtered anomalies of TBB. Contour interval is 5K. Zero and negative (positive) contours are drawn by solid(dashed) lines. Negative areas are shaded.

3. 研究成果

スペクトル解析の結果、約40日周期の季節内変動が熱帯域及び亜熱帯域の広い範囲で顕著に見られた。そこで、30-50日のバンドパスフィルターをかけて抽出したTBBの季節内変動偏差について、インド付近での経度時間断面及び赤道における緯度時間断面を図1に示す。

なお、偏差は2次式で近似した季節変化からの差として定義した。図から、インド付近では約40日毎に雲域の北進が見られ、同時に赤道域では雲域の東進が起きていることがわかる。特に、5月末に観測された北進はインドにおけるモンスーンオンセットをもたらしたと考えられる。また、東経140度付近を境にインド洋・海洋大陸側と西部太平洋以東で対流活動が逆位相で変動していることもわかった。

図2は、図1と同じデータによる、5月末に始まった北進の際の水平分布図である。

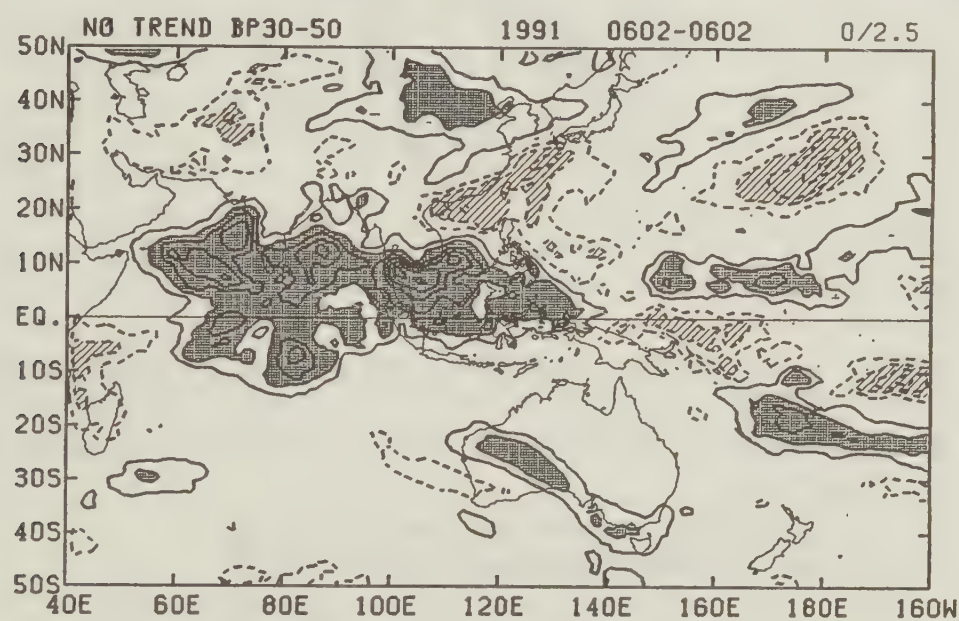


図2 30-50日バンドパスフィルターをかけた、6月2日のTBBアノマリー分布。等値線は2.5K毎。ゼロ線は省略。実(破)線は負(正)偏差。点彩(斜線)域は5K以上(-5K以下)の領域を示す。

Fig. 2 Horizontal distribution of 30-50 day bandpass filtered anomalies of TBB on 2 June 1991. Contour interval is 2.5K. Zero line is not drawn. Negative(positive) contour lines are drawn by solid(dashed) lines. More than 5K(less than -5K) areas are dotted densely(shaded).

この図からインド付近の季節内変動が赤道上の大規模対流活動域から北西方向に帯状に雲域が伸びた大規模な構造を持ち、このような構造が東進するにつれ、緯度方向には雲域の北進が観測されることがわかった。また、この帯状の雲域に沿って、オンセット低気圧やモンスーン低気圧などが発達しており、いくつかの擾乱が埋め込まれた構造を持つこともわかった。

インドにおける降水量の観測から、1987年はモンスーン活動が非常に不活発であり、1988年は非常に活発な年であるとされている。本年度はこれらの年についてインド南部での対流活動とアラビア海の海面温度および水蒸気量の比較を行なった。図3にインド南部(20°N-8°N、74°E-80°E)におけるSplit Windowで判別された積雲系の雲のみから算定された5日平均値の対流活動の指標(積雲の平均輝度温度を絶対温度(K)で示す)の変動を示す。

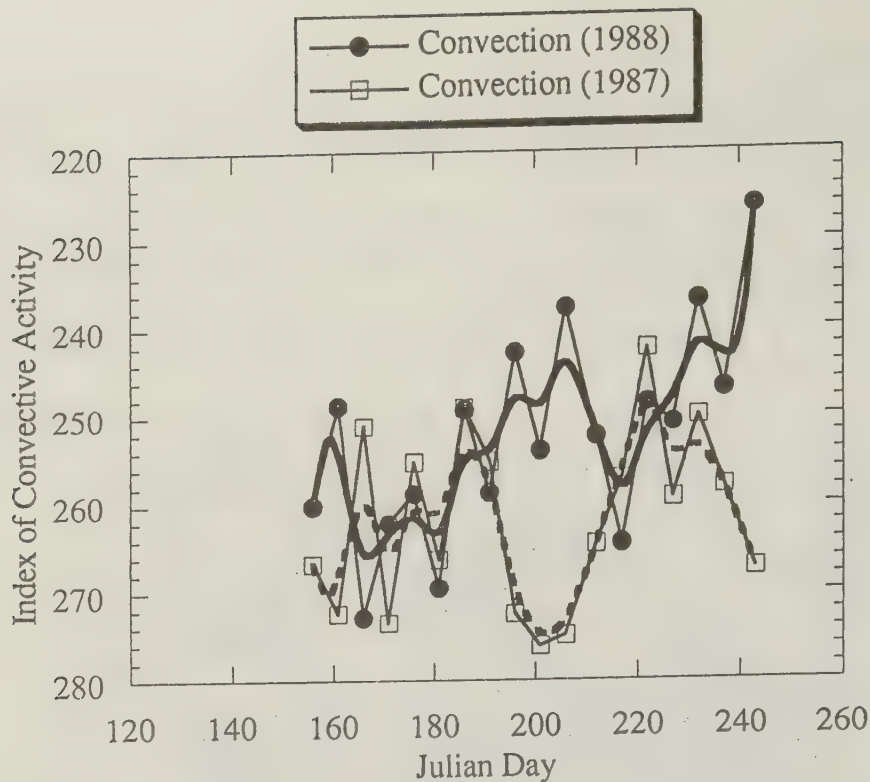


図3 1987年および1988年におけるインド南部における5日平均対流活動度

Fig. 3 Five-day mean index of convective activity over the south India for the years 1987 and 1988.

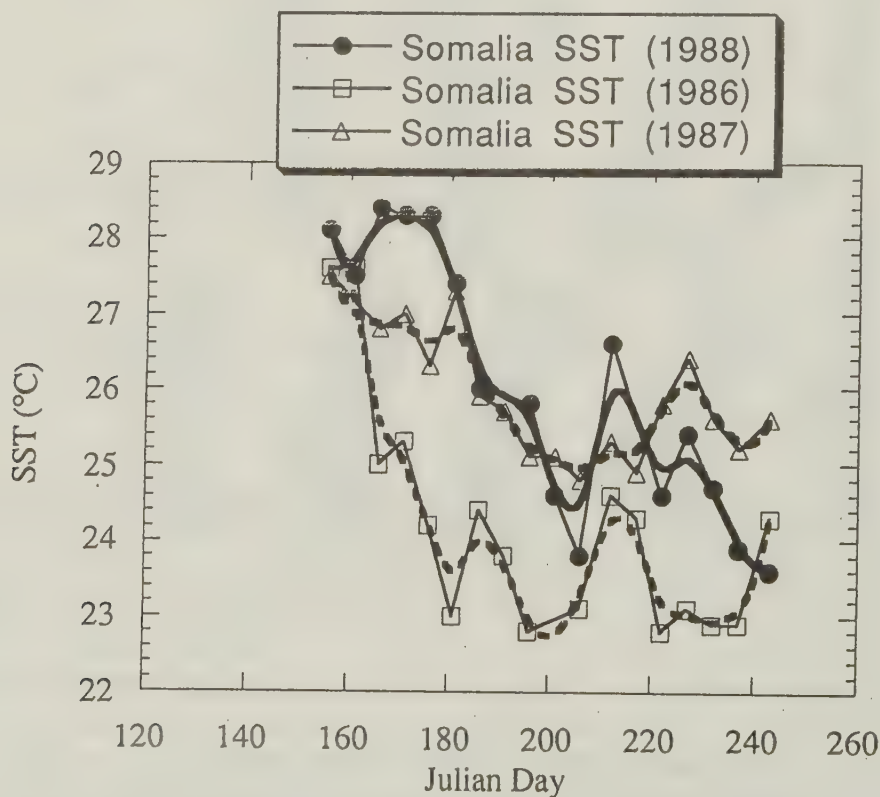


図4 1986、1987年および1988年におけるソマリア沖の5日平均海面温度

Fig. 4 Five-day mean SST off the Somalia for the years 1986, 1987 and 1988.

インド南部の13気象区での雨量計による観測では、1987年における降水量の平年値からのズレは6月に-4%、7月に-49%、8月は+27%であった。図3の指標でも1987年7月(DAY182-212)における対流活動の指標は非常に大きい値を示すことと対応している。一方1988年の雨量観測では6月に-15%の降水量であったものの7月には+41%、8月には+42%を示している。このことは1988年の指標が7月から8月に高いことと対応している。全般的に図3では1988年は1987年に比して対流活動の指標が小さく降水量が多いことを示唆している。

ソマリア沖の海面温度は大気下層でのモンスーン南西風に伴うソマリジェットの強弱に密接に関連していることが知られている(例えば平成3年成果報告書)。図4にソマリア沖(6°-8°N、50°-54°E)における海面温度の変動を1986、1987、1988年について示す。ソマリア沖では各年ともに6月からインド南部での対流活動が活発化するに伴って海面温度が低下している傾向が見られるが様相は各年毎に異なっている。1986年、1988年には海面温度の降下が急激でしかも約4度と大きな降下幅を示している。1987年には海面温度は徐々に降下し降下幅も約2度と小さいことが分かる。このことは1986、1988年にはソマリジェットが強く、1987年にはソマリジェットが弱かったことを示唆しており、気象庁の全球解析の風データと一致している。1988年はインドにおける降水量が非常に多く、強いモンスーン南西風を示唆するソマリ沖の海面温度の降下が見られる。一方1987年はインドにおける降水量が少なく、モンスーン南西風が弱かったことを示唆するソマリ沖での海面温度の降下が小さいことが見られた。1987年及び1988年についてはソマリ沖での海面温度とインド南部における対流活動が良い対応をしていると言える。しかし、1986年については、ソマリ沖の海面温度はモンスーン南西風が強くインドでのモンスーン活動が強いことを示唆しているが、実際には1987年について降水量が少なかった年であった。図5にインド西岸のアラビア海東部での海面温度の変動を1986年、1988年について示す。

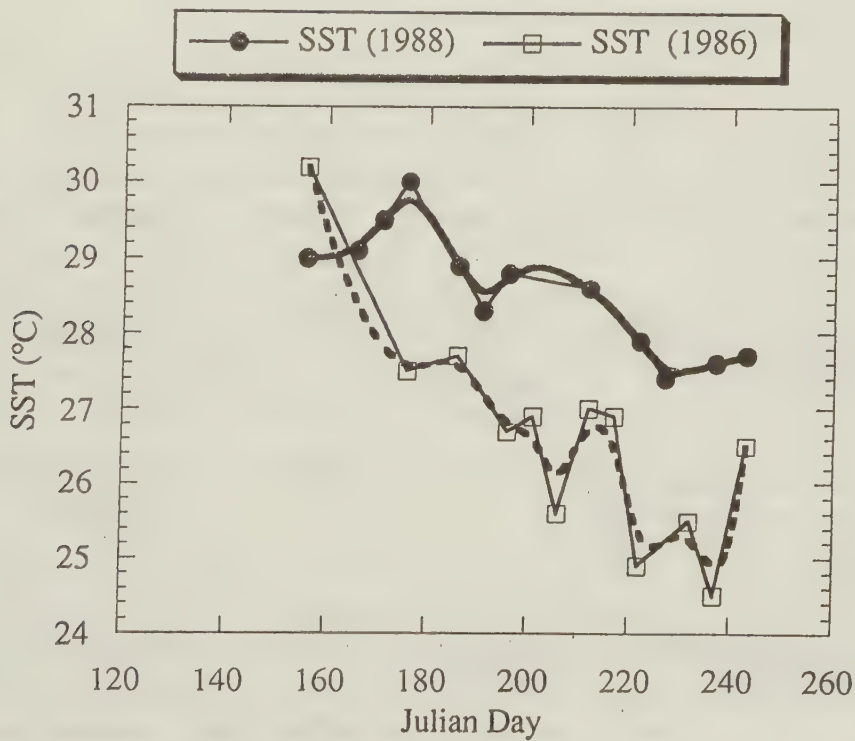


図5 1986年および1988年におけるインド西岸沖における5日平均海面温度

Fig.5 Five-day mean SST off the western coast of India for the years 1986 and 1988.

この図から1986年にはアラビア海東部の海面温度が全般に低かったことが分かる。アラビア海からの水蒸気補給はインドモンスーンに大きな役割を果たしていることが知られており、1986年にアラビア海での海面温度が低かったことはインドのモンスーン活動にとって良い条件ではなかったことが分かる。

4. 考察

季節内変動に伴う、北西から南東に傾いた帯状構造は主に北半球側、インド～海洋大陸付近で顕著に見られるが、太平洋西部以東では特にはっきりした構造は見られない。このことと赤道域東経140度付近に見られる、季節内変動の節の存在と関係する可能性も考えられる。また、インド付近では雲域が北進ほど顕著ではないが南進する部分も見られ、南北対称的な構造を持つ可能性もある。これらの点も含め、季節内変動の構造について、客観解析資料を利用し、高度場、風の場合についても解析を進める必要がある。また、結合データの時間分解能（3 hourly）を生かして、季節内変動と日変化を含む短周期変動との関連についての解析も今後取り組むべき問題である。

また海面からの蒸発は海面温度、海上風速、大気下層の気温および湿度に関係しており、これらの諸量の正確な算定が蒸発量を見積もるうえで重要である。アラビア海について言えばソマリジェットの強化は風速の増大により蒸発（水蒸気の補給）が強まる一方で、湧昇流による海面温度の低下から蒸発が抑えられる。アラビア海における風の変動に伴う海面温度の分布および変動のメカニズムを解析し、解明することもモンスーン活動を理解するうえで重要である。

5. 関係国との協力

平成4年3月に調印されたアジアモンスーン研究に関する日中協力の実施取極において衛星解析の分野においても資料の交換、専門家の交流を含む相互の研究協力を推進することが合意された。また、インドとの科学技術協力を課題名「アジアモンスーン研究のためのGMSとINSAT資料の利用」のもとで行なっている。

6. 成果の発表

②口頭発表

発 表 項 目	発表者	発表年月	発表機関	掲載刊行物
（講演） Analysis of the relationship between propagating MCZ and migrating equatorial convective system	K. Takahashi M. Murakami A. Rao	4年 9月	アジアモンスーンに関する国際シンポジウム	同左講演要旨集
Convective activity over India and sea surface temperature, water vapor over Arabian Sea revealed by split window data	T. Inoue	4年 9月	アジアモンスーンに関する国際シンポジウム	同左講演要旨集
INSAT-GMS赤外データを用いた夏季アジアモンスーンに伴う雲域変動の解析－季節内変動	高橋清利 村上勝人	4年10月	日本気象学会	1992年秋季大会講演予稿集

1. 大気を媒体とした海陸相互作用及び長周期変動に関する観測・解析研究

Study on Air-Sea-Land Interactions and their Long Term Variations

(3) 衛星データの解析的研究

Analysis of Satellite data

③ 地球放射収支に関する観測的研究

Analysis of Earth Radiation Budget
in Relation to Asian Monsoon

気象庁気象研究所

尾瀬 智昭

Meteorological Research Institute

Japan Meteorological Agency

Tomoaki Ose

科学技術庁防災科学技術研究所

杉 正人

National Research Institute

for Earth Science

and Disaster Prevention

Science and Technology Agency

Masato Sugi

(Abstract)

The spacial distribution and the seasonal change of the Earth Radiation Budget (ERB) are studied by using ERBE S-4 data for February 1985 - July 1988.

The net radiation absorbed by the atmosphere and the ground in July are large in the central to western oceans. The desert areas from Africa through Arabia form the minima. Those spacial distribution of the net radiation is explained by cloud and surface albedo.

Zonal distribution is dominant in the clear-sky net radiation. Cloud effect is the major cause for the longitudinal changes of the net radiation. The cloud effect on the net radiation in July is large in the North and East Pacific and the North Atlantic. The net effects of cloud are small in the convective regions of the Tropics because the cloud effects on the shortwave and on the longwave are cancelled.

The ERB variations are classified by applying the cluster analysis method to the 18 correlations between the monthly mean radiative fluxes of ERBE S-4 data.

Nine clusters are obtained. Those are named as 'low cloud region', 'convective cloud region', 'desert region', 'sub-equatorial ocean', 'storm-track region', 'summer land', 'polar night region', 'winter land', and 'quasi-convective cloud region'. The characteristics of the clusters can be explained by the solar incidence, cloud type, cloudiness, snow and ice cover, and the atmospheric temperature and moisture.

The regions with the large variability of the net ERB correspond to 'low-level cloud region' and 'summer land (snow cover)' in the summer hemisphere.

1. 研究目的

モンスーンは、太陽放射による陸面と海面の加熱差により基本的に形成されている。従って、地球放射収支（ERB）の分布を解析することは、モンスーンの入り・明け等の活動の機構を解明する上で基本的に重要である。本研究では、NIMBUS-7等によって観測されたERBの空間分布・時間変動を調べ、放射収支の立場からアジアモンスーンの形成・維持・変動のメカニズムを明かにすることを目的とする。

2. 研究方法

前期4年間は、NIMBUS-7およびERBE衛星による地球放射収支の観測データの解析を行い、その空間分布時間変動を調べ、モンスーン活動との関連を調べる。後期5年間は、大気大循環モデルによるモンスーンのシミュレーション結果を放射収支の立場から検証すると共に、モデルによって得られた地表面でのエネルギー収支と併せて、総合的なエネルギー収支解析を行う。

3. 研究成果

ERBE S-4 data set(Barkstrom et al., 1989)を用いて全球の放射収支の空間分布と季節変化の特徴を調べた。用いたデータは、 2.5° の分解能の月平均データで、1985年の2月から1988年の7月までのデータを各月毎に平均したデータである。図1と図2は、各々雲を含む場合と、晴天の場合の7月の正味放射の分布である。また、図3は、これらの差(cloud radiative forcing)である。図1によると大気及び地表面により吸収される正味放射は、北(夏)半球の亜熱帯海洋の中部から西部で大きい($>120 \text{ W m}^{-2}$)。同じ亜熱帯でも、アフリカからアラビアにかけての砂漠地帯では正味放射は極小($<30 \text{ W m}^{-2}$)となっている。アジア及び北アメリカの大陸のほとんどの部分では、正味放射の値はおおよそ $60 \sim 90 \text{ W m}^{-2}$ となっている。これらの空間分布は、雲と地表面アルベードの分布によって説明できる。

図2に示されるように、晴天の場合の正味放射は、入射太陽光が緯度によって大きく変わるため東西方向の帯状のパターンが卓越する。すなわち、雲は、正味放射の分布の東西方向の非一様性を生ずる最大の要因である。図3に示されるように、正味放射に対する雲の効果は、北太平洋と東太平洋、及び北大西洋で最も大きい。一方、熱帯の対流活動域では正味放射に対する雲の影響は小さい。これは、熱帯では、雲の太陽光に対するアルベード効果と、長波放射に対する温室効果が各々は大きな値をとる($>60 \text{ W m}^{-2}$)が、互いにキャンセルする傾向があるためである。

正味放射の季節変化においては、入射光の規則的な年変化が支配的である。この規則的な年変化を多少変化させる主な要因は、雲と地表面アルベード(雪の効果を含む)の時間変動である。図5と図6に、それぞれ、雲と海陸差が東西平均の正味放射に及ぼす効果の季節変化を表す。雲の効果は、夏季の中緯度の太陽放射に対して大きい。雲によるアルベードの季節変化はそれほど大きくないが、日射の強い夏季には、雲によって反射される太陽エネルギーが非常に大きくなる。同様に、正味放射の海陸差も、日射の強い夏季に最大となる。アルベードの海陸差は、雲のために北半球の冬季に($50 \sim 60^\circ \text{ N}$ 付近で)最大になるが、日射のエネルギーが小さいため、正味放射の海陸差としては小さい。

太陽からの短波入射量を固定した状態での地球放射収支の変動を、ERBE S-4 データを用いて解析した。ここで変動成分は、季節変化からの偏差で定義される。データの期間が短いこともあって、解析の対象は、月平均値の年々の変動並びに季節内の変動を区別せずに扱った。用いられたデータは、1985年2月から1988年7月までのERBE(S-4)データの、1985年8月から1988年7月までの各月の3年平均値からの差である。

北半球夏期の短波放射収支の大きな変動は、夏大陸北部と太平洋、特に西部に認められる。小さい地域は、サハラ砂漠や南半球中高緯度である。長波の場合は、熱帯太平洋西部に見られる。2つの差である、正味放射収支の変動が大きな地域は、夏大陸北部と大陸西岸から北太平洋にかけてである。太平洋西部を除いて、短波放射収支の変動が大きなところと一致する。太平洋西部では、短波放射と長波放射が互いに打ち消し合って、正味放

射収支の変動は小さい。南半球では、亜熱帯域の大陸西岸で、大きな変動がみられるが、短波入射の絶対値が小さくなる高緯度になるほど、正味放射収支の変動も小さくなっている。

これらの変動は、大気、雲および地表面の状態の変化によってもたらされる。大気上端での放射収支の変動をもたらす気候要素としては、大気の水蒸気や温度、雲の有無およびそのタイプ、地表面の性質ならびに温度、雪や氷の有無などの変動が考えられる。どの因子が重要であるかは、季節・地域によって異なる。正味の地球放射収支が、短波および長波放射成分、晴天放射および雲による放射強制力の各成分からどのようにして決まっているかを、北半球夏期と冬期に分けてクラスター解析を用いて定性的に調べた。

北半球夏期(4~9月)と冬期(10~3月)別の、ERBE(S-4)データから得られる各放射フラックス間の相関係数18個をもとにクラスター解析を行った。クラスター解析は、Iwasaka et al. (J. Meteor. Soc. Japan, 1988)の方法による。クラスターの結合は、クラスターの重心とクラスターを構成する各データ間との相関が、0.6を下回らないように行われた。

図7(a)と(b)は、それぞれ各地点の北半球夏期および冬期の地球放射収支の変動が9つのどのクラスターに属するかを、数字で示す。ここで、空白は、晴天放射量が観測されていない等のデータの欠落によるものである。各クラスターの「重心」から、その正味放射の変動の特徴を見ることができる。また、その特徴を形成する要因を、地域分布などからある程度推測することができる。(以後、「変動」を省略。また、下向きフラックスを正とする。)

クラスター9は、大陸西岸域の下層雲の多いところに見られる。正味放射は、雲の短波放射強制力によって決まっている。雲による短波強制力と長波強制力の負相関は、このクラスターが最も小さい。

クラスター2は、対流の活発な地域と一致する。この場合も、正味放射は雲による短波放射強制力と高い相関があるが、このクラスターの特徴は、雲による短波放射強制力が、高い負相関で連動する雲による長波放射強制力で相殺されていることである。クラスター8は、クラスター2と似ているが、晴天放射の寄与が大きく、クラスター2(対流活発域)やクラスター7(海洋亜熱帯域)の周辺に見られる。クラスター2に比べ、対流雲の雲量がやや少ないとともに、その高度がやや低いのであろう。

クラスター7は大陸の乾燥域(亜熱帯域)と、クラスター1は海洋の亜熱帯域と一致する。クラスター1とクラスター7では、正味放射は、晴天放射との相関が高いが、クラスター2で見られた特徴を持つ雲による変動も同程度に高い。両者の違いはあまり明瞭でないが、クラスター1では雲の効果が短波によって、クラスター7では長波によって決まる傾向がある。海上では対流性の雲が、陸上の乾燥域では絹雲系の雲が、雲の放射への効果の変動の中でより重要であるのかもしれない。クラスター1では、晴天短波放射と晴天長波放射の正相関が見られる。これを、海面水温(または大気下層の気温)とこれに伴う大気下層の水蒸気の変動を考えると、この傾向に対する説明は可能である。

クラスター4は、冬期の極域(短波入射がほとんど無い)の大陸や海氷上にあり、正味放射は晴天長波放射によって決まる。クラスター5は冬期の大陸上にあり、正味放射は同じく晴天放射によって決まっているが、長波放射よりむしろ短波放射と相関が良い。これは、雪の分布の変動が、正味放射に強く反映しているのであろう。

クラスター3は、ストームトラックの分布と一致している。夏期においても、高緯度に見られる。その性格は、クラスター9の低層雲と似ている。両者の違いは、クラスター3では正味放射が雲によって決まっている度合い及び、雲の正味放射強制力が短波によって決まっている度合いが小さいことである。高緯度を短周期で移動する低気圧に伴う、中下層の雲の効果として理解される。

クラスター6は、夏の大陸上に分布する。正味放射は、晴天放射と雲の効果の両方に依存する。晴天短波放射が晴天放射を決める。晴天短波放射は、雪の変動によるのであろう。晴天短波放射と晴天長波放射は、比較的高い負相関を示す。雪がもたらす高いアルベドと低い地表面温度を、その理由とすると説明される。両者の負相関は、クラスター4

(冬期の極域)でも見られる。クラスター5(冬期の大陸)では、その性格が認められないのは疑問として残る。雲による影響の性格は、クラスター8の準対流活発域と似ている。夏の南極大陸の多くの地域では、クラスター6よりも、むしろクラスター9(低層雲)が見られる。

4. 考察

正味放射の変動が大きい地域は、夏半球側(短波入射量が大きい)で、長波放射が短波放射の変動を強く相殺しないタイプの要因(低層雲と雪)が放射の変動を支配している地域のように思われる。この結果、エルニーニョ現象発生時においても、熱帯域で活発化した対流雲による直接的な正味放射の変動よりも、離れた地域で、上記の要因による正味放射の変動は大きくなる。

正味放射の変動の大きさには、その要因の変動の大きさも関係しており、それらのデータをより詳しく見ることにより、正味放射の変動の定量的な面についても、考察が可能かもしれない。また、これらの放射の変動と、モンスーン循環との関係も、課題として残る。

ERBE S-4データから求められる放射収支は、大気上端での大気・地表面系での収支である。大気・地表面系による正味放射の吸収は、アルベードの小さい海で大きく、陸上では小さい。陸上では正味放射のエネルギーは、放射による直接の大気の加熱と地表面からの顕熱および潜熱の形で大気に与えられるが、海上では一部は海の加熱に使われる。大気の内味のエネルギー収支を求めるには、地表面でのエネルギーフラックスを知る必要がある。ECMWFの解析データには地表面及び大気上端でのエネルギーフラックスの計算値が含まれており、これを用いて大気の内味のエネルギー収支を見積もることができる。ECMWFの大気上端での放射フラックスは、ERBE S-4データとかなり違うところがある。これは、主にモデルの雲の取扱いが十分でないためと考えられる。したがって、ECMWFの解析データを用いる場合には、この差を考慮する必要がある。

ERBE S-4データも7年近く蓄積され、年々変動の解析も行えるようになってきた。今後NIMBUS-7のデータと比較を行い、両者を合わせて放射収支の長期間の年々変動を明らかにしたい。

5. 引用文献

Barkstrom, B., E. Harrison, G. Smith, R. Green, J. Kibler, R. Cess and
ERBE Science Team, 1989 : Earth Radiation Budget Experiment (ERBE)
archival and April 1985 results. Bull. Amer. Meteor. Soc., 70, 1254-1262.

6. 成果の発表

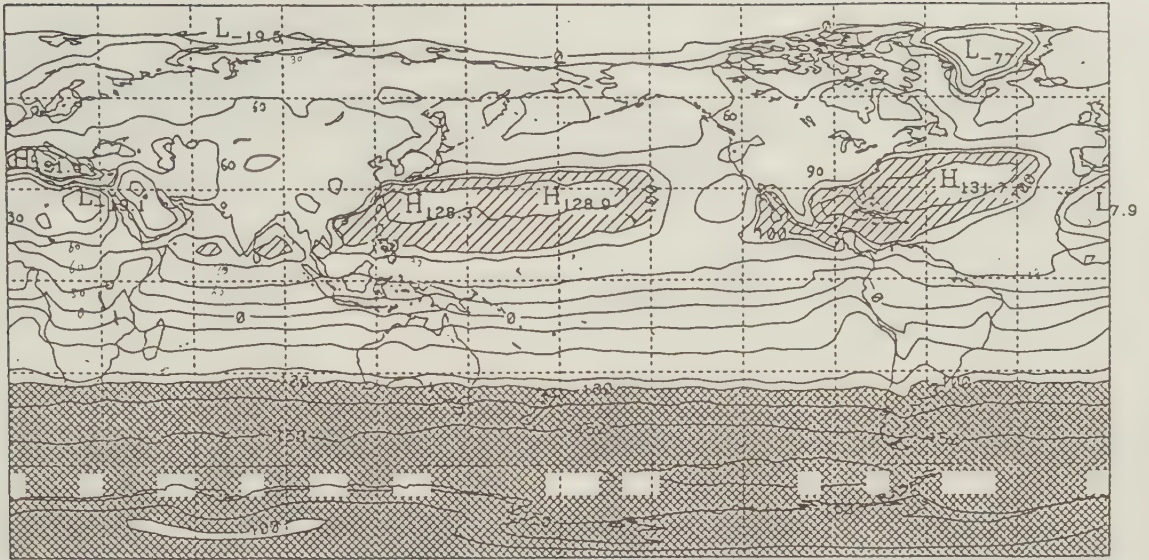
(1) 口頭発表

発表者名	発表題名	発表場所
杉 正人	Spatial and temporal variation of earth radiation budget	アジアモンスーン 国際シンポジウム 1992年9月、つくば

7. 関係国との協力

なし

NET RADIATION for July

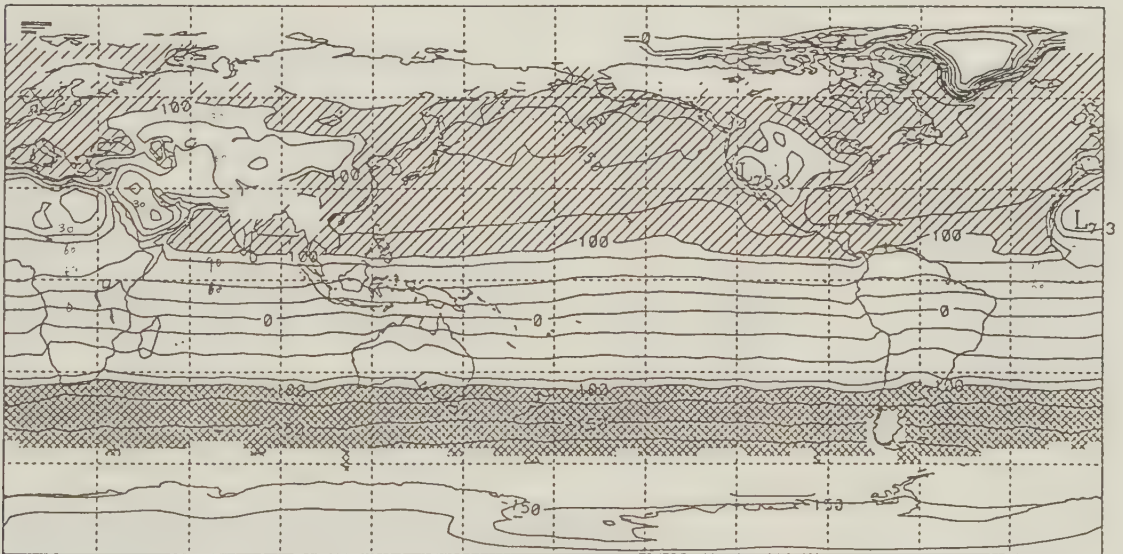


CONTOUR FROM -300 TO 300 BY 30

図1 7月の正味放射（雲を含む場合）。薄い陰影は $+100\text{Wm}^{-2}$ 以上、濃い陰影は -100Wm^{-2} 以下。

Fig.1 Cloudy sky net radiation for July. The areas above $+100\text{Wm}^{-2}$ are lightly shaded and below -100Wm^{-2} heavily shaded.

NET RAD. CS for July



CONTOUR FROM -300 TO 300 BY 30

図2 7月の正味放射（晴天の場合）。薄い陰影は $+100\text{Wm}^{-2}$ 以上、濃い陰影は -100Wm^{-2} 以下。

Fig.2 Clear sky net radiation for July. The areas above $+100\text{Wm}^{-2}$ are lightly shaded and below -100Wm^{-2} heavily shaded.

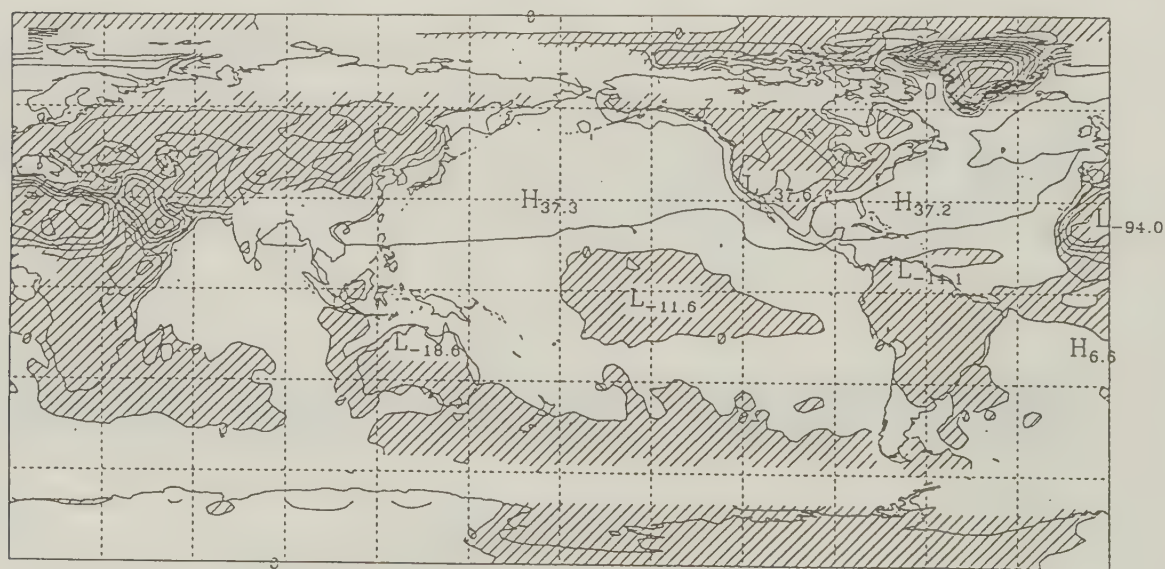
NET RAD. CRF for July



CONTOUR FROM -200 TO 100 BY 20

図3 7月の正味放射の雲を含む場合と晴天の場合の差。陰影は -40Wm^{-2} 以下。
Fig.3 Net radiation difference (cloudy-clear) for July. The areas below -40Wm^{-2} are shaded.

NET RAD. CS for July zonal mean subtracted



CONTOUR FROM -200 TO 200 BY 20

図4 7月の晴天正味放射から帯状平均を除いたもの。負の部分に陰影。
Fig.4 Clear sky net radiation with zonal mean subtracted. The negative areas are shaded.

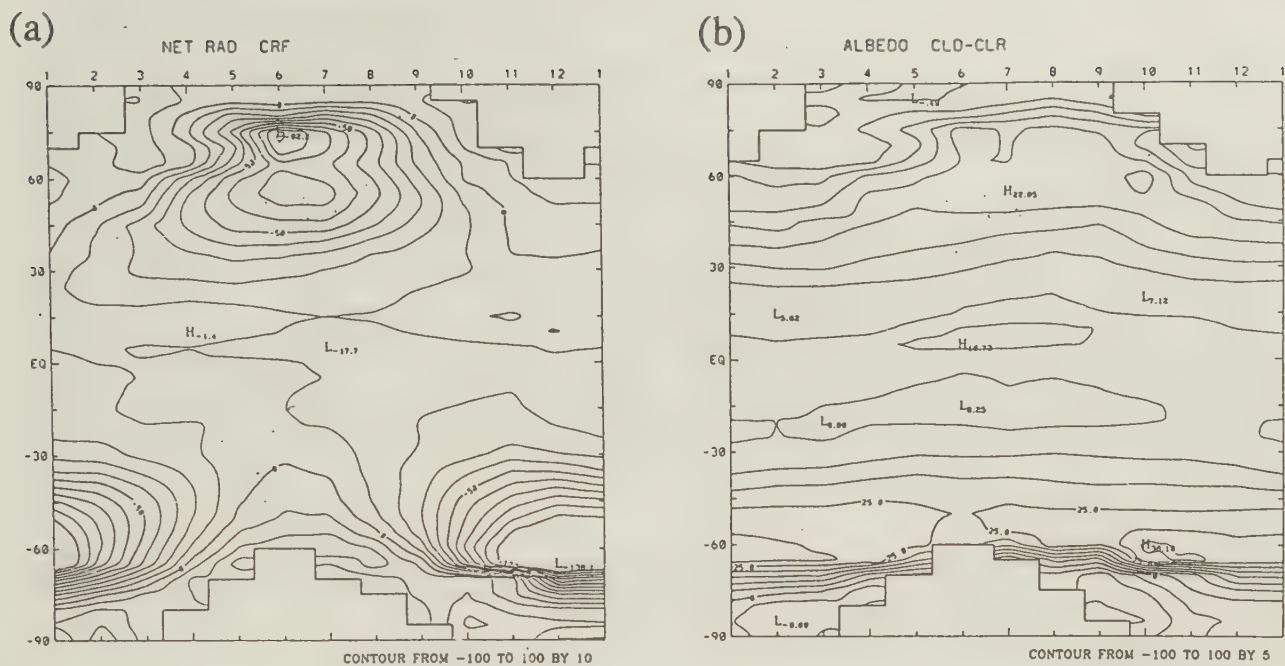


図5 (a) 雲を含む場合と晴天の場合の正味放射の帯状平均の年変化。
 (b) 雲を含む場合と晴天の場合のアルベードの帯状平均の年変化。
 Fig.5 Annual variation of zonal mean (a) net radiation difference (cloudy-clear) and (b) albedo difference (cloudy-clear).

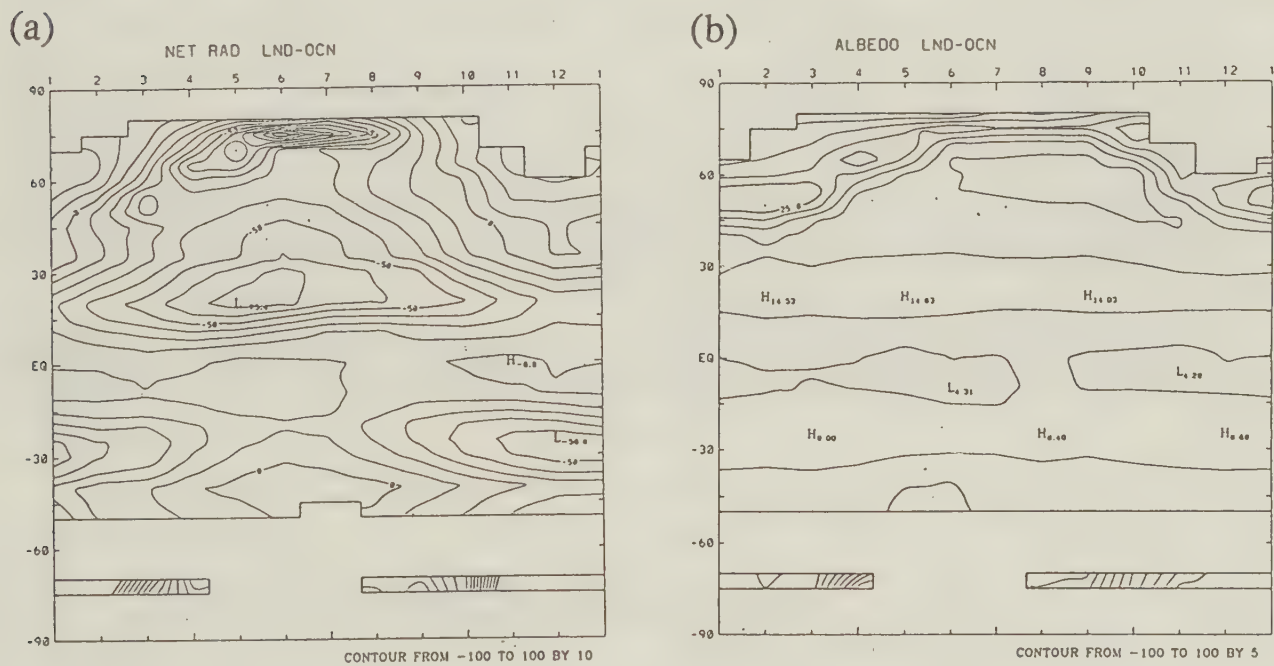


図6 図5と同じ、ただし陸上と海上の差。
 Fig.6 Same as in Fig.5, but for the difference between zonal means over the land and over the ocean (land-ocean).

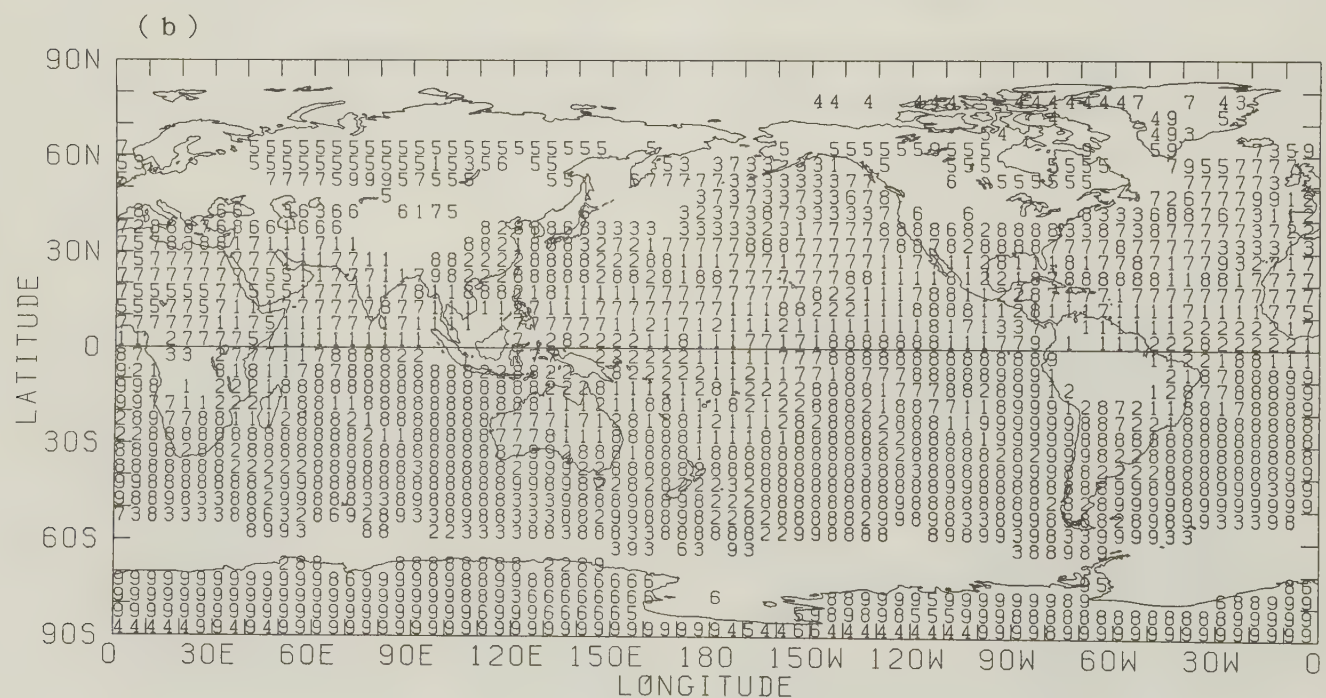
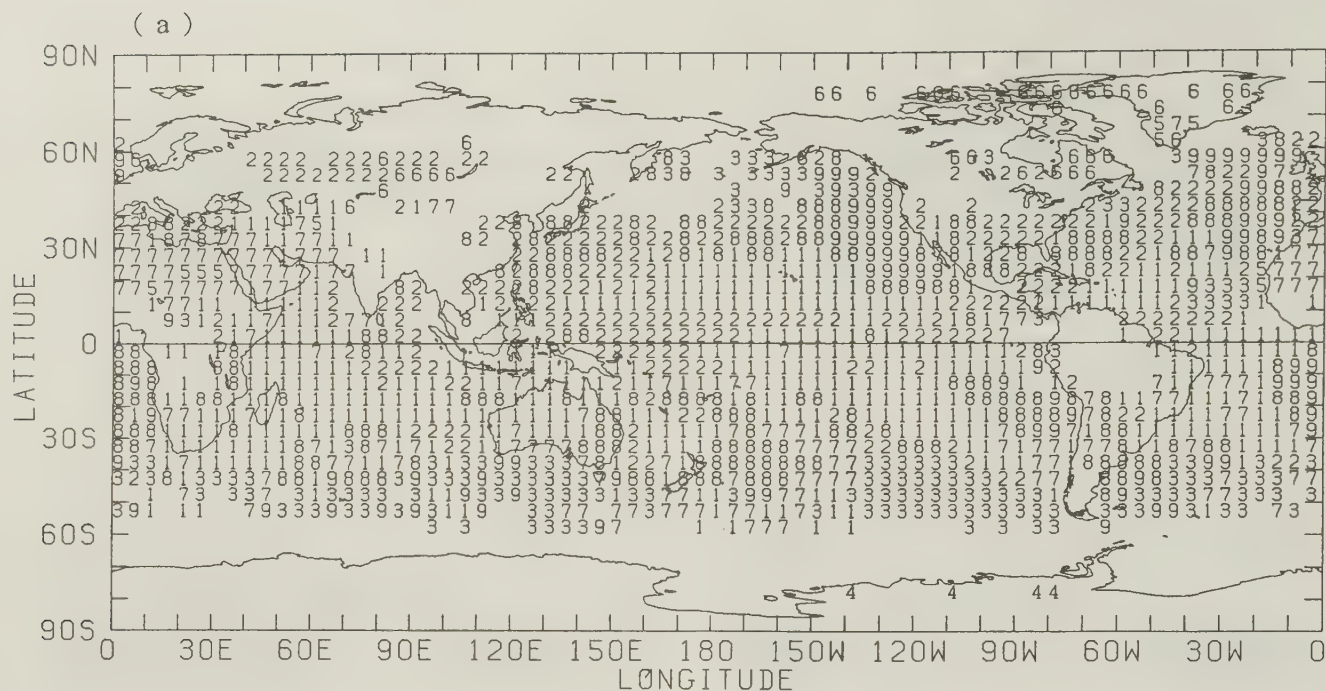


図7 クラスター解析による地球放射収支の変動の分類が、数字で示される。
各クラスターの説明は、本文中。

(a) 北半球夏期の場合、
(b) 北半球冬期の場合。

Fig.7 Each number in the figures shows the classification of the ERB fluctuations by the cluster analysis. See the details in the text.
(a) summer season, (b) winter season in the Northern Hemisphere.

1. 大気を媒体とした海陸相互作用及び長周期変動に関する観測・解析研究
Study on Air-Sea-Land Interaction and the Long Term Variations

(4) 地域水収支に関する解析研究

Analytical Study of Water Balance on Representative River Basins

科学技術庁防災科学技術研究所
気圏・水圏地球科学技術研究部
水循環研究室
岸井 徳雄

Hydrologic Cycle Laboratory.
Atmospheric and Hydrospheric
Earth Science Division.
National Research Institute for
Earth Science and Disaster Prevention.
Science and Technology Agency
T. Kishii

(Abstract) The activity of Asia monsoon is influenced by water cycle and change of water cycle affects Asia monsoon. This study aims to clarify water balance of the regional scale in China. For the purpose hydrological data base, the elements are precipitation, runoff, evapotranspiration, temperature, humidity, wind velocity and radiation, has been made. Using this database the yearly change of precipitation is analyzed. Furthermore the experimental basins will be built and the detailed analysis of water balance in the basin is scheduled.

This report shows the change of monthly precipitation on July, mid month of rainy season in China using "The monthly meteorological data in China (1974~1981)". This data contain temperature, humidity and precipitation etc. of 196 meteorological stations.

The result is following. Monthly precipitation on July in the whole China amounts from 96mm to 130mm. Especially the amounts of monthly precipitation in 1980 were only 96mm. Furthermore, There were large areas in the west part of China where amounts of precipitation were very few.

1. 研究目的

アジアモンスーン変動は、各地域の水の循環によって大きな影響を受け、又、水の循環の変動はアジアモンスーンに大きな影響を与える。本研究は、このモンスーン変動にとって重要な水の収支について、中国を対象地域として研究を行うものである。

具体的には、中国における水文資料（降水、流出、蒸発、気温、湿度、風、日照等）の水収支の研究に必要なデータを収録し、データベース化する。

次に、それを用いて、水収支の解明に重要な水文要素である降水の年々変動について解析を行うとともに中国内に流出試験地を設け、この流域内で精密な水文観測を行い、地域の水収支を明らかにするとともにこの長期変動とアジアモンスーンとの関係について研究し長期的な水収支の予測に役立てようとするものである。

2. 研究方法

今年度は、水文資料のデータベース化と月降水分布の年々変動とについて解析を行った。データベース化に用いた資料は、中国地面気象記録月報（北京気象局発行）である。本月報には中国内196地点（図1）の水文・気象要素（降水、気温、風、積雪、日照、気圧、地温等）が掲載されている。これらデータを各月毎に観測地点順に数値化し、フロッピーディスクに収納したものである。今年度まで1974年から1981年までをデータベース化した。今後は毎年度2〜3ヶ年ずつデータベース化する予定である。

次に月降水分布の年々変動に用いた資料には、1974-1981年の月降水量であり、雨期の代表月（月降水量最大の月）として7月を対象として、中国全域の分布特性を解析した。分布特性を端的に表すため、50mm、100mmおよび200mmの等雨量線を用いて、多雨期における雨域の変動を調べる。

3. 研究成果

各年における月降水量の分布を以下に述べる。また、図2-図9に50mm、100mmおよび200mmの等雨量線を示す。

(1) 1974年7月の月降水量分布（図2）

月降水量50mmの等雨量線は、30° Nから東方へのび（35° N、105° E）から北へむかう。50mm以下（以後、月降水量という語を省略）の地域は、西部地域の通常範囲にある。200mm以上の地域は、南部の狭い範囲に限られている。このことが月降水量の中国全域での平均値を102mmという小さい値にしている。

(2) 1975年7月の月降水量分布（図3）

月降水量50mmの等雨量線は、前年より東方の（30° N、100° E）付近までのびそこから北東へ向かう。この結果、50mm以下の少雨域は、西部の広い地域にわたっている。一方、200mm以上の地域が南岸に沿って広くあるため、中国全域の平均月降水量は、112mmとそれほど少ない訳ではない。

(3) 1976年7月の月降水量分布（図4）

月降水量50mm以下の地域は、1974年と同様、平年とあまり異ならない。しかしながら、200mm以下の地域が南部に限定されるため、中国全域の平均月降水量は、102mmと少ない。

(4) 1977年7月の月降水量分布（図5）

月降水量50mm以下の地域は、平年よりやや狭い範囲にあり、一方、200mm以上の地域が南岸に沿ってかなりある。そのため、中国全域の平均月降水量は、130mmと1974年から1981年の間で最大となっている。

(5) 1978年7月の月降水量分布（図6）

月降水量50mm以下の地域は、平年並みであるが、200mm以上の地域は南岸でそれほど広くなく、そのため、中国全域の平均月降水量は、106mmと小さい値にとどまっている。

(6) 1979年7月の月降水量分布（図7）

月降水量50mm以下の地域は、200mm以上の地域共に平年並みの広がりとなっている。中国全域の平均月降水量は、120mmとなっている。

(7) 1980年7月の月降水量分布（図8）

月降水量50mm以下の地域は、西部地域において、1975年以来の最大のひろがりを示した。一方で、200mm以上の地域が南岸でかなりあるにもかかわらず、中国全域の平均月降水量は、96mmと1974年から1981年の間で最小値となっている。

(8) 1981年7月の月降水量分布（図9）

月降水量50mm以下および200mm以上の地域共に、平年並の広がりを示している。ここで、特徴的なのは、50mmおよび200mmの等雨量線とも、ほぼ東西に、すなわち、緯度に平行していることである。中国全域の平均月降水量は、121mmは、1974年から1981年の平均値である111mmに比べやや多い。

4. 考察

中国の月降水量の資料を用いて、中国の全域の平均月降水量の年々の変動を50mmと200mmの等雨量線を利用して調べた。その結果、1975年および1980年において月降水量50mm以下の地域が中国の西部で広く生じた。この原因としては、アジアモンスーンの変動が推定されるが、詳しい解析は、今後の課題である。また、100mmの等雨量線については、年々変動は、見られない。このことは、少雨域（50mm以下）および多雨域（200mm以上）は、変動し易いが、中程度の雨域は、比較的安定していると考えられる。中程度の降水量は、1974年から1981年までの中国全域の平均月降水量が111mm（ほぼ100mm）に対応している。

5. 成果の発表

岸井 徳雄(1992)：最近の中国の降水分布。 土木学会第47回年次学術講演会、講演概要集第2部，558-559。

以上

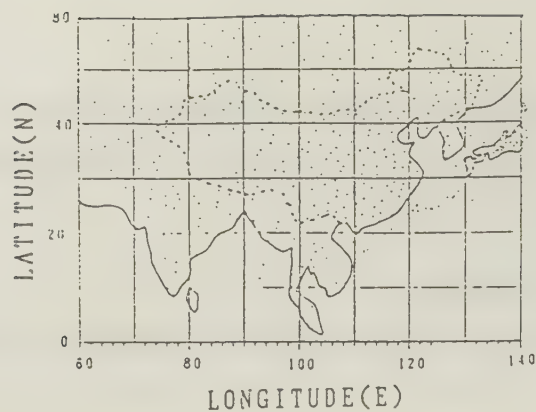


図1. 中国の降水量観測地点（点線内）
FIG.1 Precipitation observation station in China (inside of dotted line)

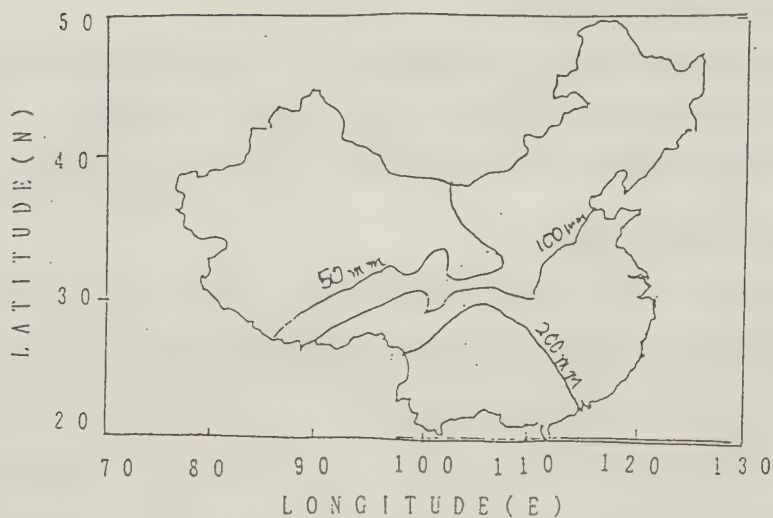


図2. 1974年7月の降水量分布
FIG.2 Precipitation distribution (July, 1974)

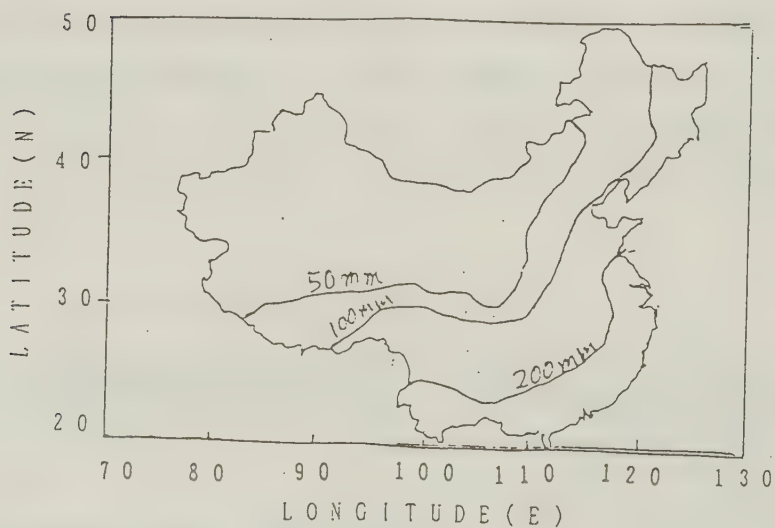


図3. 1975年7月の降水量分布
FIG.3 Precipitation distribution (July, 1975)

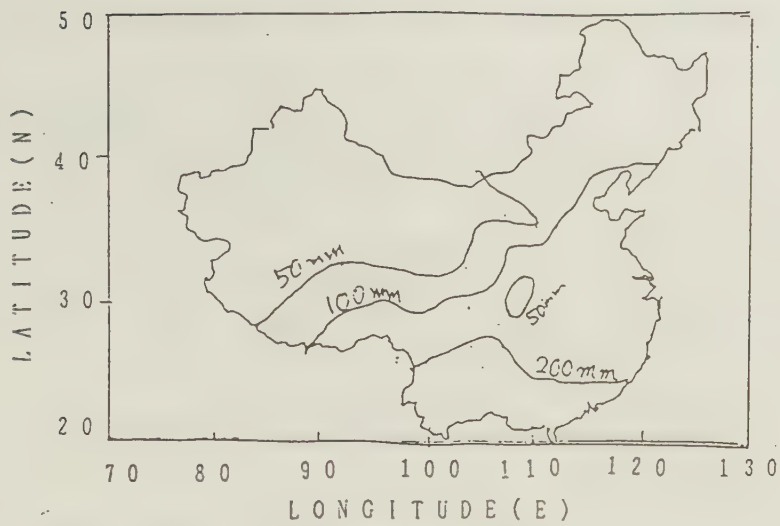


図4. 1976年7月の降水量分布

FIG.4 Precipitation distribution (July, 1976)

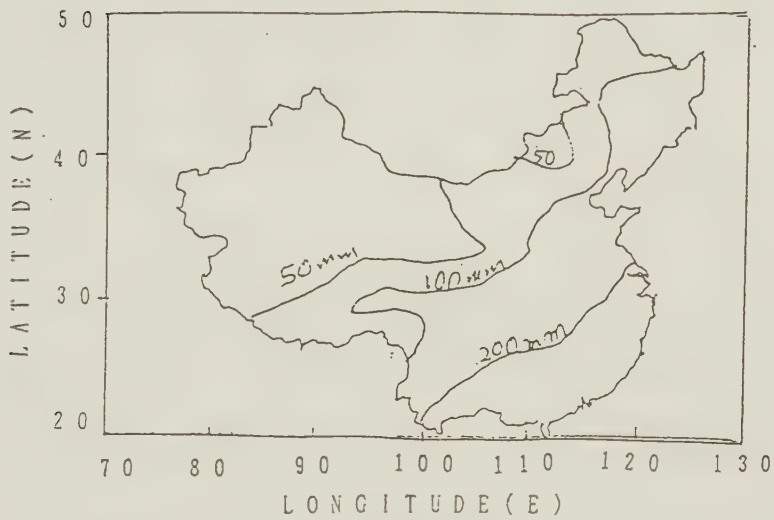


図5. 1977年7月の降水量分布

FIG.5 Precipitation distribution (July, 1977)

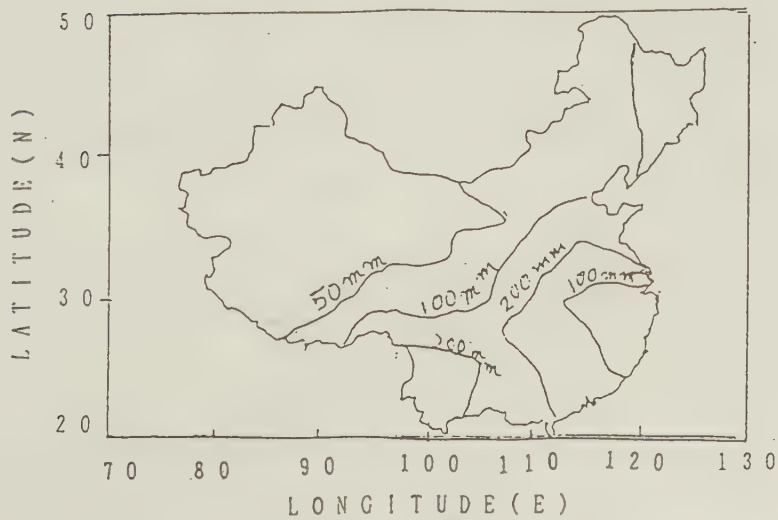


図6. 1978年7月の降水量分布

FIG.6 Precipitation distribution (July, 1978)

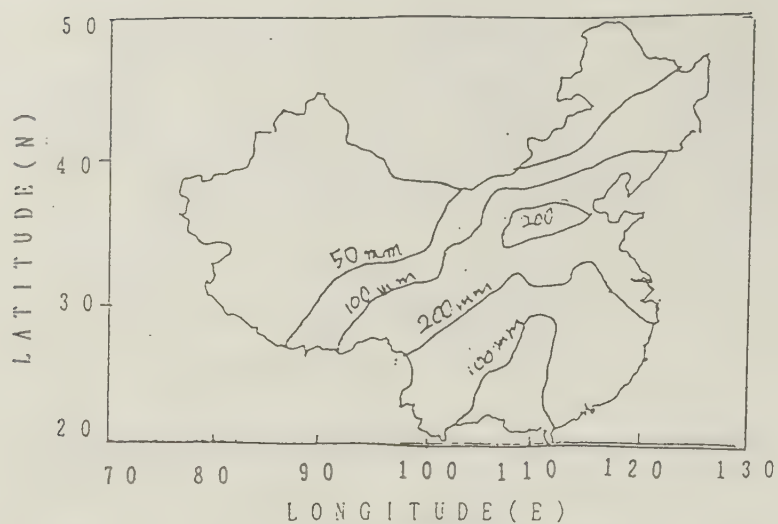


図7. 1979年7月の降水量分布

FIG.7 Precipitation distribution (July, 1979)

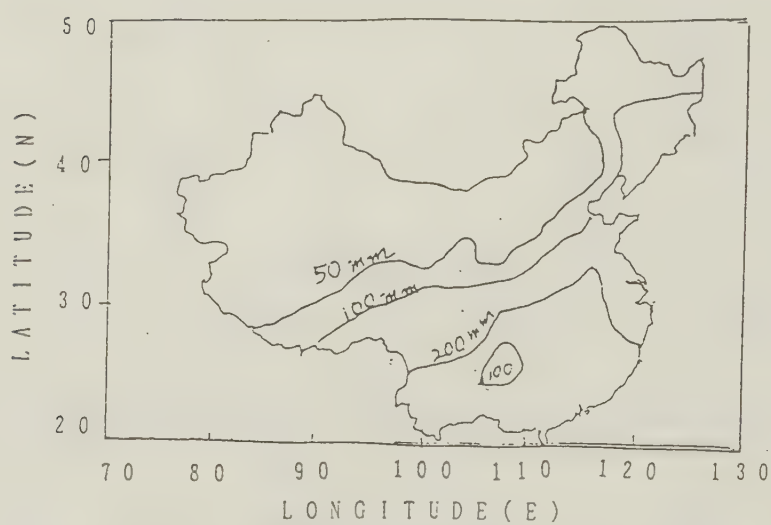


図8. 1980年7月の降水量分布

FIG.8 Precipitation distribution (July, 1980)

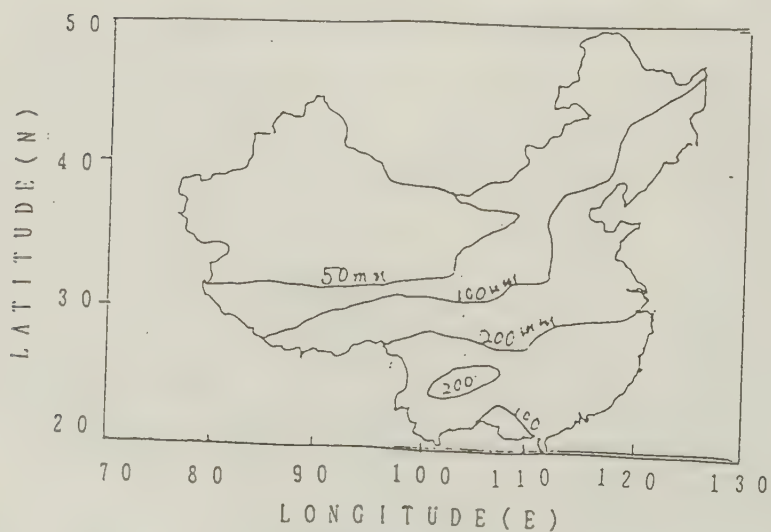


図9. 1981年7月の降水量分布

FIG.9 Precipitation distribution (July, 1981)

1. 大気を媒体とした海陸相互作用及び長周期変動に関する観測・解析研究

Study on Air-Sea-Land Interactions and their Long Term Variations

(5) 大気・海洋・陸面間の相互作用に関する解析的研究

Analytical study on Air-Sea-Land Interactions

① モンスーン降水系の解析

Analysis of Precipitation Systems in Asian Monsoon Region

気象庁気象研究所

田中 実、森 一正、和田 美鈴

Meteorological Research Institute

Japan Meteorological Agency

M.Tanaka, T.Akiyama, K.Mori, M.Wada

(Abstract) The purposes of this study are: Collect rainfall, surface, upper air, GMS and other data. Analyze precipitation systems in the Asian monsoon region. Create visual data of precipitation system using the personal computer and video. The data for this study are collected from the published and exchanged materials with emphasis on the rainfall and GMS data. During forth year of this study, the daily rainfall data for India 80 stations (1975-84) were processed. In addition, the daily rainfall data for India (511 stations, 1971-74, 1985-87) were obtained.

Using these and the data collected in previous year following analysis were carried out:

(1) Using the 5-day mean GMS data, the onset and retreat dates of the summer monsoon in Indonesia, Australia and New Guinea using 12-year climatology from 1978 to 1989 were analyzed. (FIG. 1 and 2)

(2) The videotapes of the GMS IR data of seasonal change of the monsoon high-cloud amount for Asian and Australian regions were created.

(3) Analysis of the structure of the precipitation systems in western Pacific during TOGA-COARE (November 1992) period radar observations by Keifu-Maru are conducted (FIG. 3).

Currently, we are planning to obtain the daily rainfall data for the Asian monsoon region. We are continuing the analysis of the precipitation systems in this region. These analysis are: Analysis of the interannual change of the GMS high cloud amount over the Asia-west Pacific and Australian region. Analysis of the precipitation systems in tropical western Pacific using the radar and GMS data.

1. 研究目的

本研究は、アジアモンスーン地域における降水量・GMS等の観測データの収集、モンスーン降水系の解析を行いアジア地域の気候変動予測技術向上を目指す。

2. 研究方法

- (1) 定常観測及びGMS・レーダー・降水量等のデータの収集を行う。
- (2) モンスーン地域における降水系の年々変動・季節変化・季節内変動及び構造の解析を行う。
- (3) パソコン・ビデオ等を使用した映像データの作成。

3. 研究成果

(1) データの収集

インドにおける511地点の7年間(1971-74, 1985-87)の日降水量データを入手した。インドにおける約80地点の10年間

(1974-85年)の日降水量を整備した。

観測船啓風丸による熱帯太平洋のITCZ内のレーダー・高層・海上気象データをTOGA-COARE期間の1992年11月を中心として収集した。

(2) モンスーン降水系の解析

インドネシア・オーストラリア地域におけるGMS上層雲量による夏のモンスーンの開始から終了までの季節変化を解析した。(図1)(図2)モンスーン降水系の構造を1990年6月の啓風丸によるレーダー観測を中心として解析し、降水系の構造が明らかになった(Mori、1992)。さらに1992年11月のレーダーデータの解析を行った。

(図3)

(3) パソコン・ビデオ等を利用した映像データの作成

アジア・オーストラリア地域のGMS上層雲量による季節変化を映像化し、ビデオテープ化した。

4・考察

これまでの調査により東南アジア地域におけるGMS上層雲量の季節変化や日本の雨期の特性、モンスーン降水系の構造等を解析した。今後はその他のモンスーン地域の解析や、より時間・空間的にきめ細かい解析が必要である。このため次のような調査・解析を行いたい。

(1) データの収集

月定常観測・月降水量データの収集。モンスーン地域における毎日の降水量の収集。GMS資料やレーダー等のデータの収集を行う。

(2) モンスーン降水系の解析

東南アジア・東アジア・西太平洋における夏のモンスーン季の年々変動をGMS上層雲量を利用して解析する。

熱帯太平洋の降水系の変動及び構造の解析を継続する。

インドネシア・オーストラリア地域のモンスーンの季節変化・季節内変動をGMS上層雲量を利用して解析する。

(3) 映像データの作成

上記のデータや解析結果のうち映像化に適したデータのパソコン・ビデオ等による映像化を継続する。

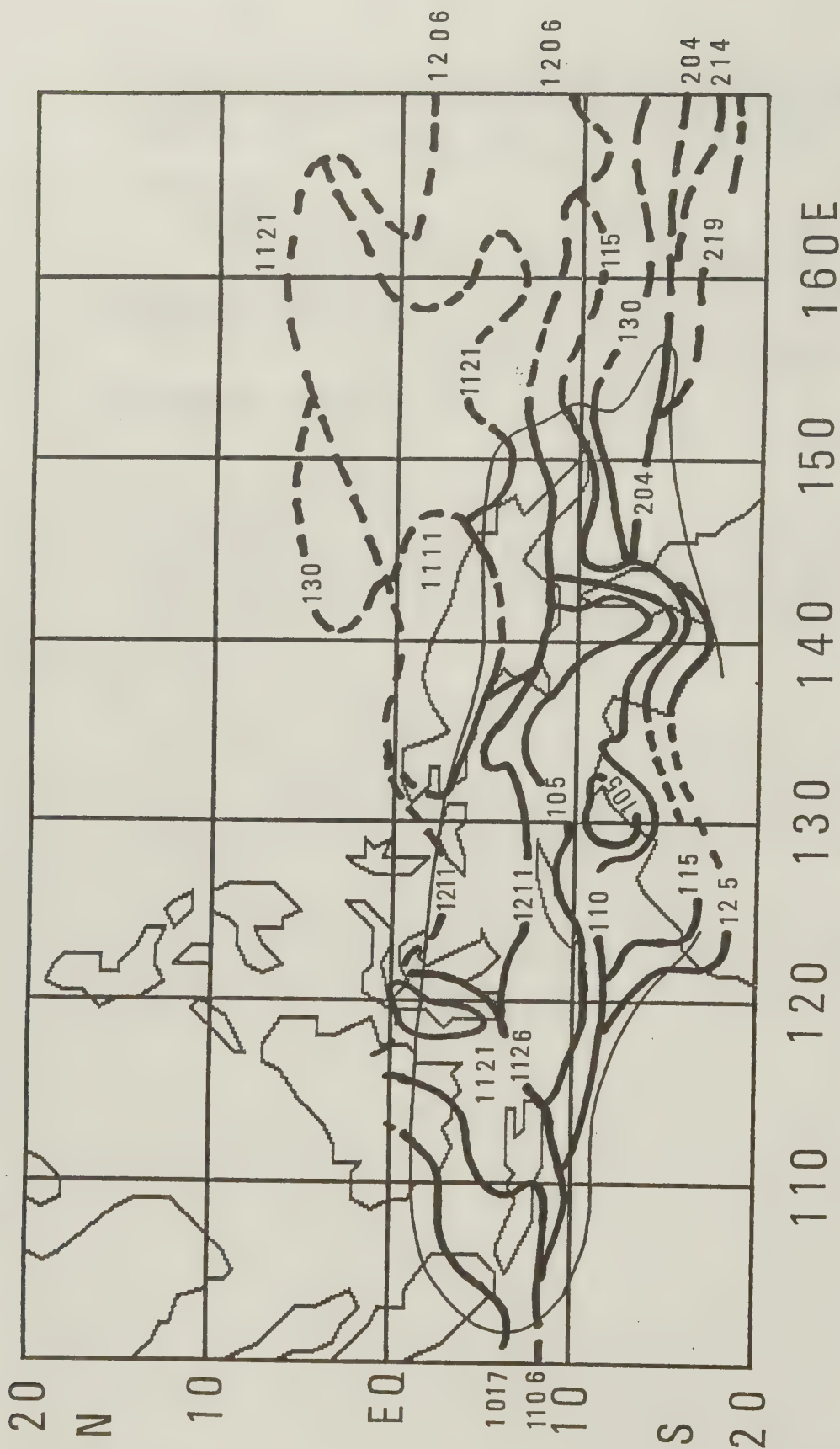


図1 5日平均GMS上層雲量の平年値によつて決定した熱帯モンスーンの開始日。細い線は雲量の年変化が20%以上のモンスーン地域。開始日は上層雲量が30%以上の最初の半月。

FIG. 1 Onset dates defined by the threshold value of more than 30 percent of the 1978-89 mean high cloud amount for tropical (ITCZ related) monsoon season. The last day of each pentad is shown on the thick contour line defining the northern limit of the area where the mean onset dates are observed in a given pentad.

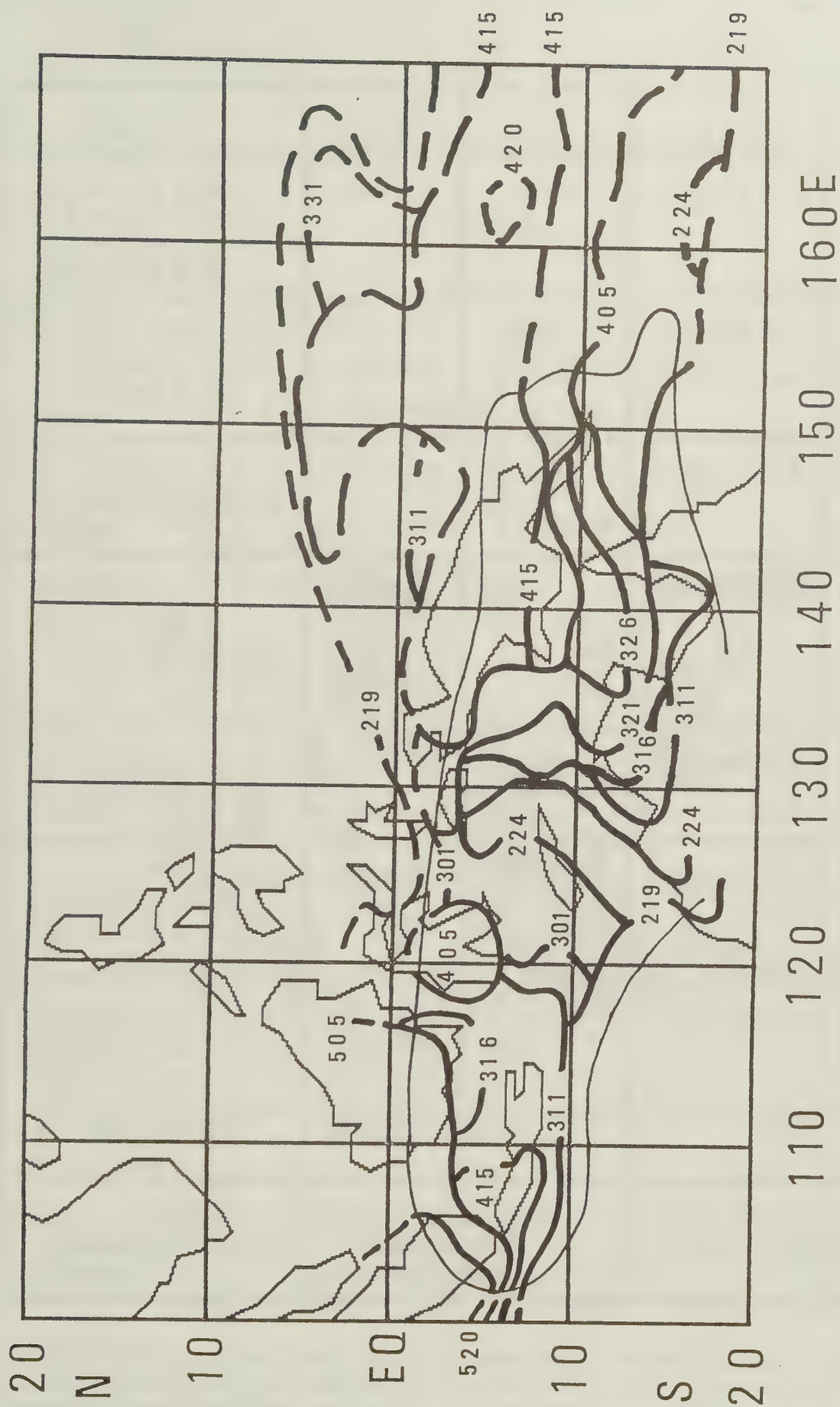


図2 図1と同じ、ただし熱帯モンスーンの終了日。

FIG. 2 Same as Fig. 1, but for retreat dates of the tropical monsoon.

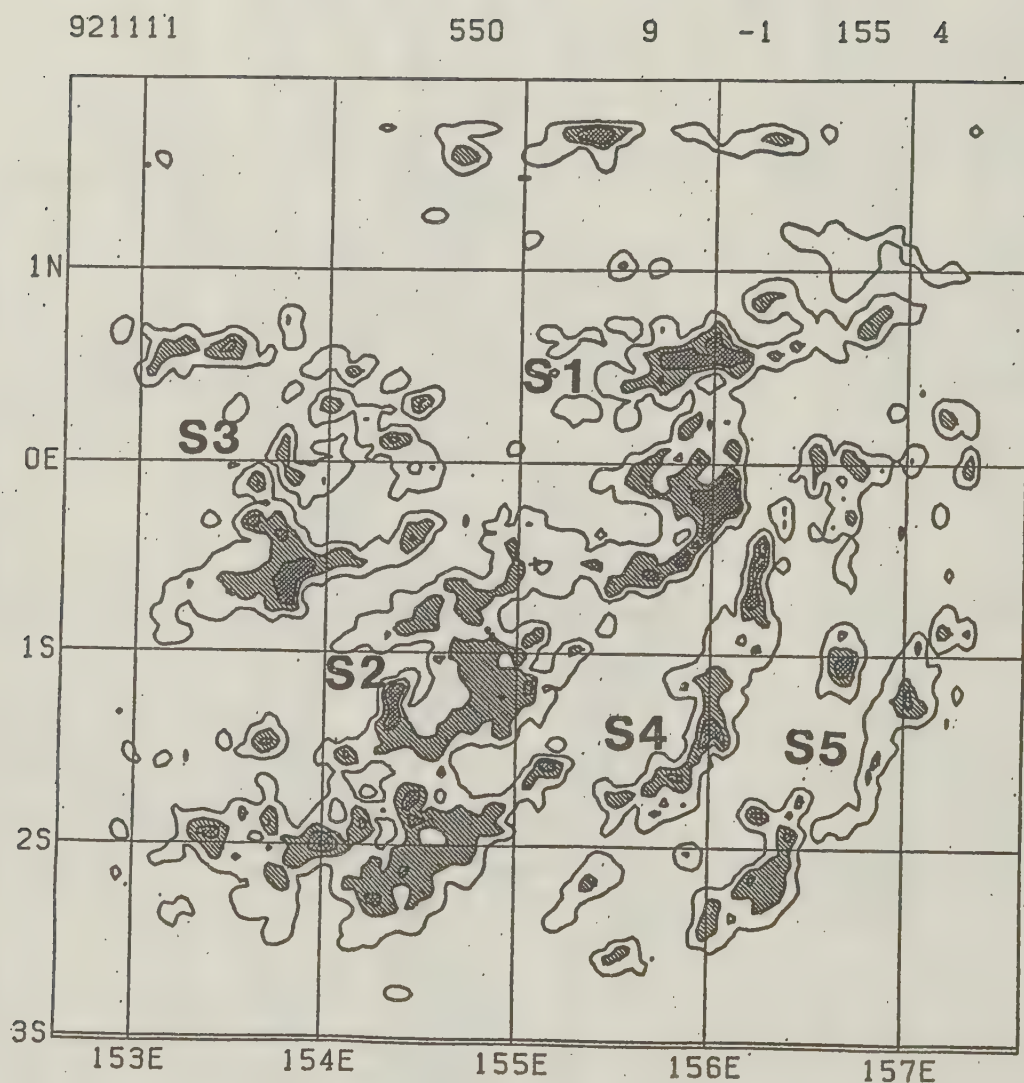


図3 1992年11月10日2050UTCに観測されたエコー。
等値線は反射強度8dbz、薄い斜線部>16dbz、濃い斜線部
>24dbz。このシステムは発達段階にあり、1000km規模
の様々な形態をもつ構造(S1-S5)が存在していた。

FIG. 3 The cloud clusters observed by Keifu-Maru radar at 2050 UTC
11 November 1992. The contours show the regions greater than
8 dbz, light shades >16 dbz, dark shades >24 dbz. Five 1000 km
scale strctures (S1-S5) are observed in this echoes.

6. 研究成果の発表

発表項目	発表者	発表年月	発表機関	掲載刊行物
GMS上層雲量による東南アジア地域におけるモンスーン開始の年々変動	田中 実	1990年 5月	日本気象学会	1990年春季 大会予稿集
レーダ、GMSデータを使ったメソスケール熱帯擾乱の解析	森一正 丸山健人	1990年 5月	日本気象学会	1990年春季 大会予稿集
降水日の継続性からみた梅雨期と秋雨期の比較	秋山孝子	1990年 5月	日本気象学会	1990年春季 大会予稿集
西部熱帯太平洋上のクラウドクラスターのレーダー観測	森一正 飛田良 田中 実 丸山健人 本多庸浩	1990年 10月	日本気象学会	1990年秋季 大会予稿集
熱帯西部太平洋における大規模じょう乱の解析 (I I)	田中 実	1990年 10月	日本気象学会	1990年秋季 大会予稿集
GMS上層雲量によるアジア・西太平洋上における夏のモンスーン季の季節変化	田中 実	1991年 5月	日本気象学会	1991年春季 大会予稿集
西部熱帯太平洋域における、1990年11月1991年1月のクラウドクラスターのレーダー観測ー凌風丸レーダーを使つてー	森一正 加藤 徹 田中 実 丸山健人 本田庸浩	1991年 5月	日本気象学会	1991年春季 大会予稿集
GMS赤外画像でとらえたピナツボ火山の噴煙	田中 実	1991年 10月	日本気象学会	1991年秋季 大会予稿集

発表項目	発表者	発表年月	発表機関	掲載刊行物
GMS上層雲量によるインドネシア・オーストラリアにおけるモンスーンの季節変化	田中 実	1991年 10月	日本気象学会	1991年秋季 大会予稿集
梅雨期の日降水量分布の特徴	秋山孝子	1991年 10月	日本気象学会	1991年秋季 大会予稿集
降水日の継続性からみた梅雨期と秋雨期の比較 その2 降水域の空間変動	秋山孝子	1991年 10月	日本気象学会	1991年秋季 大会予稿集
Internal structure and time evolution of cloud clusters in the western tropical Pacific region observed by Keifu-Maru	Mori.K R.Tobita	1991年 12月	メソ気象学と TAMEXに関する 国際集会	Proceedings of International Conference on Mesoscale Meteorology and TAMEX
(論文) Intraseasonal Oscillation and the onset and retreat dates of the summer monsoon over East,Southeast Asia and the Western Pacific region using GMS high cloud amount data	Tanaka Minoru	1992年 2月	日本気象学会	気象集誌 Vol.70, 483-499.
GMS上層雲量によるアジア・西太平洋上における夏季モンスーンの季節内変動の年々変動	田中 実	1992年 5月	日本気象学会	1992年春季 大会予稿集
西部熱帯太平洋上のクラウドクラスターのレーダー観測(続) - 啓風丸91-05次観測航海速報 -	森一正 田中 実	1992年 5月	日本気象学会	1992年春季 大会予稿集

発表項目	発表者	発表年月	発表機関	掲載刊行物
Intraseasonal and interannual oscillation and the onset and retreat dates of the summer monsoon over East, Southeast Asia and the western Pacific region using GMS high cloud amount data	Tanaka Minoru	1992年 9月	International symposium on Asian monsoon	Proceedings of International symposium on Asian monsoon
(論文) Internal structure and time evolution of a cloud cluster in the western tropical Pacific region observed by Keifu-Maru	Mori Kazumasa	1992年 12月	日本気象学会	気象集誌 Vol.70, 1111-1124.

1. 大気を媒体とした海陸相互作用及び長周期変動に関する観測・解析研究

Study on Air-Sea-Land Interactions and their Long Term Variations

(5) 大気・海洋・陸面間の相互作用に関する解析的研究

Analytical study on Air-Sea-Land Interactions

② モンスーン循環系の総合的解析

Comprehensive Analysis of Asian Monsoon Circulation System

気象庁予報部

長期予報課

前田修平、小沢芳郎、工藤達也

Long-Range Forecast Division

Forecast Department

Japan Meteorological Agency

S. Maeda, Y. Kozawa, T. Kudo

(Abstract) The Asian Monsoon Circulation shows variations on time scales from several ten days to several years and has a significant influence on weather in Japan and world through the global atmospheric circulation.

The purposes of this study are to clarify long-range variations of The Monsoon Circulation and to assess the influence on weather in Japan and world by data analysis of upper air, surface, sea surface temperature (SST), OLR from satellite, and snow cover.

In this year, the result is following.

(1) By using the empirical orthogonal function (EOF) analysis, interannual variability of 200hPa streamfunction anomalies in winter season was investigated. The 1st EOF mode was examined and the forcing (see the report of the last year) to maintain the 1st mode was estimated.

(2) Relationships between mean SSTs of Indian Ocean ($60^{\circ}\text{E}-100^{\circ}\text{E}$, $10^{\circ}\text{S}-10^{\circ}\text{N}$) and SSTs of other sea areas were investigated using global SSTs reanalysis data by JMA. Higher correlations between SSTs of Indian Ocean and SSTs of the eastern and central tropical Pacific Ocean were found.

1. 研究目的

アジアモンスーン循環は、数十日～数年の長期変動をしており、大気大循環や世界・日本の天候に大きな影響を与えている。本研究は、高層・地上観測データ、海洋データ、陸面データを総合的に解析することにより、モンスーン循環の長期変動の実態と変動機構を明らかにするとともに、大気大循環や日本・世界の天候に及ぼす影響の評価を行う。

2. 研究方法

平成4年度は平成3年度に行った、大気の運動に影響を与える強制力の解析に関連して、200hPa流線関数偏差場において出現頻度が大きい特徴的パターンに対してどのような強制力が対応するかを調査するとともに、モンスーン循環に大きな影響を持つインド洋の海面水温の変動と他の海域の海面水温の変動の関係を調査した。

3. 研究成果

前年度は、渦度方程式の残差項から求まる強制力の解析を行い、200hPa流線関数の季節平均場の偏差が維持する要因について調べた。季節平均場の偏差は強制力の偏差を与えた場合の線形応答として解釈する事ができ、この線形性を利用する事によって200hPa流線関数の季節平均偏差場を維持する要因の一つである、非定常成分の強制力（渦度の偏差が非発散風の偏差によって移流される効果）の寄与を定量的に見積もる事ができた。

本年度は流線関数の時間平均偏差場が準定常で、強制力の偏差の線形応答として解釈できると仮定して、流線関数偏差場において出現頻度が大きい特徴的なパターンに対してどのような強制力が対応するかを調査した。

図1は1979年～1990年の全球客観解析から200hPa流線関数の月平均偏差場を求め、冬の期間についての主成分分析（EOF解析）を行い、その第1主成分（寄与率は41.5%）を表す。150°W付近には赤道を挟んで南北に反対称な偏差がある。この流線関数の反対称な偏差は高度偏差としては対称な偏差に相当する。チベット付近から日本の南海上にかけて明瞭な偏差が見られる。図2は上記の第1主成分に対応する強制力の分布図である。

流線関数の第1主成分は年々の冬季の偏差場と比較してみると1982/1983年の冬の偏差パターンによく対応していて、図2の強制力の分布も同じ冬の全強制力とほぼ類似していることが分かった。

インド洋の海面水温の変動とエルニーニョ現象との関係は1970年以降の海面水温データを使って、既にいくつかの調査がなされている（水野、1991）、（宮崎、1991）。

ここでは、気象庁海洋課が再解析した全球海面水温データを使って、1961年1月～1990年12月の30年の期間について、インド洋の海面水温と他の海域の海面水温の相関と季節別、年代別の相関を求め、その分布図を作成した。

図3は上記の30年間分の月平均海面水温偏差データを基に求めた、インド洋（10°S～10°N、60°E～100°E）と他の海域の海面水温の間の相関分布を示している。等値線の間隔は0.3、絶対値0.3以上を描く。実線は正、破線は負、斜線部は0.3以上を示している。

熱帯海域で見ると、赤道中・東部太平洋に0.3を超える正の高相関域が広範囲に見られる。

熱帯のエルニーニョ監視領域との間の相関係数はNINO.4(160°E-150°W, 4°N-4°S)で+0.53、NINO.3(150°W-90°W, 4°N-4°S)で+0.44となっている。このような正相関域は、北半球の大西洋低緯度帯にもみられ、全球規模で熱帯域の広範囲に広がっていることが分かる。

図4は、期間を年代毎（1961～1970, 1971～1980, 1981～1990）に10年間として各々相関を求めたもので、各年代に共通して、熱帯域の広い範囲に正相関が認められるが、年代毎にその値及び分布にかなり大きな差がある。

1971年～1980年の10年間に最も相関係数の値が大きく、この期間には他の年代にくらべインド洋の海面水温と熱帯中・東部太平洋の海面水温の変動の関係が深いことを示している。

図5は季節平均した海面水温データを基に求めた、季節毎の相関分布を示す。インド洋と熱帯中・東部太平洋の海面水温の関係は冬に大きく夏に小さくなる傾向が見られる。

4. 考察

インド洋の海面水温の変動に対し、赤道中・東部太平洋及び北半球大西洋低緯度帯の海面水温の変動は正の相関があり、特に1980年代にその相関係数が大きい。季節別では冬に相関が高く夏は相関が弱くなる傾向にある。インド洋と他の海域の海面水温との相関分布は、年代によりかなりの相違が認められた。年代による相関の相違をもたらす要因等についての考察は今後の課題である。

5. 引用文献

水野恵介・行縄茂理（1991）：科学技術庁研究開発局、アジアモンスーン機構に関する研究
平成2年度成果報告書、P15～P44

宮崎保彦（1991）：平成2年度全国長期予報技術検討会資料、気象庁予報部、P94～P100

6. 成果の発表

小沢芳郎，（インド洋と他の海域の海面水温との間の相関関係）、平成3年度全国長期予報技術検討会資料、気象庁予報部、P84～P88

7. 関係国との協力

なし

EIGEN VECTOR NO.=1 41.5

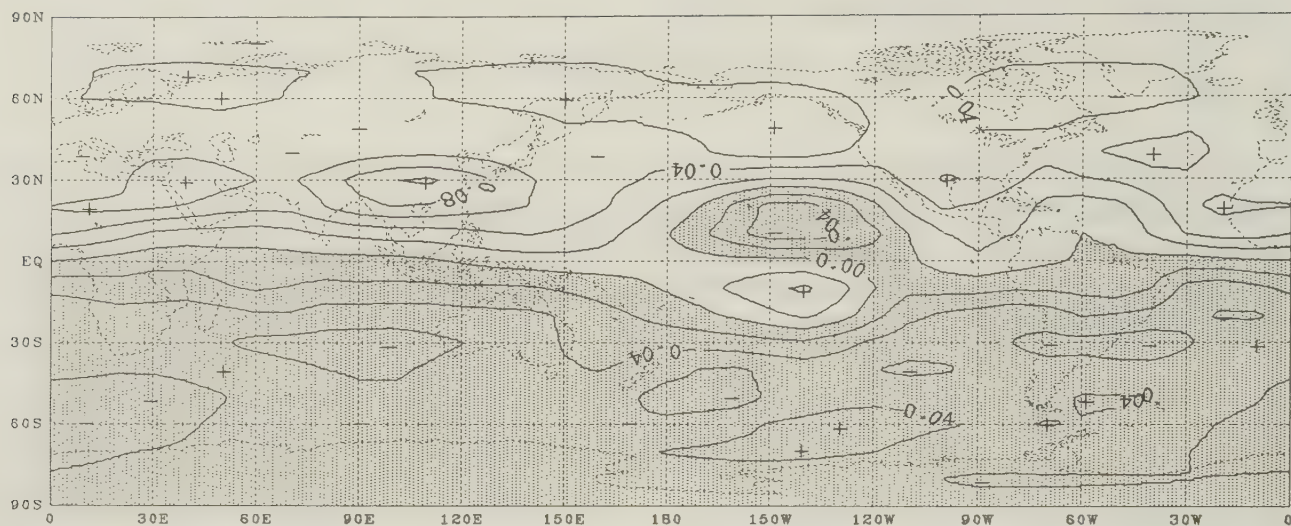


図1 200hPa流線関数の月平均偏差場（冬季）の第1主成分（寄与率41.51%）。
FIG.1 EOF 1st Function (41.5%) of 200hPa streamfunction anomaly in winter season.

FORCING TERM NO.=1

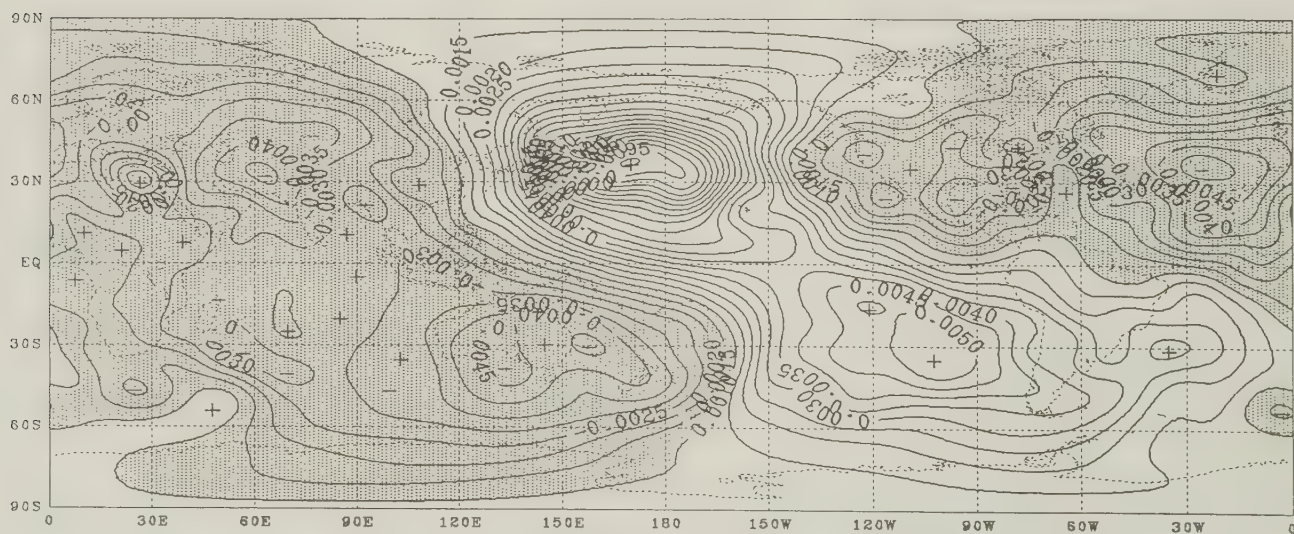


図2 第1主成分に対する強制力の分布。
FIG.2 Forcing of EOF 1.



図3 インド洋 (60°E–100°E, 10°S–10°N) の平均海面水温と他の海域の海面水温との相関 (1961年～1990年)。

FIG.3 Correlation between mean sea surface temperature of Indian Ocean (60°E–100°E, 10°S–10°N) and sea surface temperature of other sea area (1961–1990).



図4 上段は (1961–1970年), 中段は (1971–1980年), 下段は (1981–1990年) の期間の相関。
FIG.4 same as FIG.3 except for Correlation of (1961–1970)(TOP), (1971–1980) (middle) and (1981–1990) (bottom).



図5 季節毎の相関、その他は図3と同じ。

FIG.5 Same as FIG.3 except for seasonal correlation.

2. 数値モデルによる実験研究

Development/Experiment on Numerical Models

(1) 広域水収支モデルの開発に関する研究

Numerical Study on Regional Water Balance Model in Asia

科学技術庁防災科学技術研究所

中根 和郎, 幾志 新吉

National Research Institute for Earth Science and
Disaster Prevention, Science and Technology Agency.

K. Nakane and S. Kishi

(Abstract) The numerical model of the regional water balance for assessing the variations of water resources and the water contents in the soil due to the fluctuation of Asian monsoon activity, is necessary. GCM (General Circulation Model) is generally used for simulating global climate and weather. This model has some hydrological processes on the land surface and could calculate evapotranspiration and water contents in the soil as well as precipitation. Though, the hydrological processes in the model are too simplified and the resolution is around 2° to 5° . For assessing the variations of regional water resources and regional water contents in the top-soil, the more accurate and fine model is required. The purpose of this study is to develop the such kind of the regional water balance model, which can simulate various regional hydrological aspects, such as surface runoff, water contents in the top-soil, storage of water in the area, water equivalent of snowpack and snowmelt, evapotranspiration etc., over the Asian continent affected by Asian monsoon. The resolution of the model will be decided as a grid area with 50 to 500 km². The model will be made based on Tank Model. The model is composed of 4 submodels, namely as a discharge submodel, an evapotranspiration submodel, a submodel of snowpack and snowmelt, and a precipitation submodel. The discharge submodel is composed of many tank models, which are applied to each grid area on simply classified field as their field models and each river on the simplified river system as their river models. The evapotranspiration submodel, which calculates the evapotranspiration in a grid area, will contain the modeling of both effects on dryness in the top-soil and seasonal change of vegetation. The submodel of snowpack and snowmelt calculates water equivalent of snowpack and snowmelt in a grid area using daily data on precipitation and mean air temperature, and the submodel has some local factors related to humidity, wind and geography. The precipitation submodel calculates the areal precipitation on a grid area using conventional rain gage data and seasonal patterns of the cloud cover which are derived from satellite data. Through the study of this fiscal year, the following results are obtained ;

(1) DTM (Digital Terrain Map) data with two minutes spatial resolution was made, which cover the Asian monsoon area from 30 degrees to 160 degrees in longitude and from 60 degrees north to 20 degrees south in latitude. Superposing this DTM data on Regional Satellite Image data mosaicked from NOAA AVHRR GAC data, three dimensional satellite image could be displayed.

(2) The relationship between monthly evaporation measured by a pan and monthly mean air temperature on the land in 1971 to 1983 at Ching Mai, Phitsanulok and Nakon Sawan in Thailand, which are located in tropical region, was investigated. As a result, it was found that monthly evaporation could be almost estimated from monthly mean air temperature.

(3) New regression equation was proposed for estimating monthly mean air temperature from the Regional Satellite Image data. This equation is consisted of explanatory variables, namely split window channels data of channel 4 and channel 5 on NOAA AVHRR GAC data and a cosine of the zenith distance related to extra-terrestrial solar radiation. This regression equation was applied to 36 conventional meteorological observational site over the Asian monsoon area from Jan., 1989 to Sep., 1991 and reasonable estimations were obtained.

(4) NIED (National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention) in Japan and RSTAC (Remote Sensing Technology Application Center) in China jointly investigated Ohoyodo River basin in Kyushu, Japan, which is one of the representative basin for hydrological modeling and acquired the daily data on precipitation, river runoff and inflow/outflow of dams.

1. 研究目的

高温、多雨、少雨などの異常気象が増加し、世界の気温が昇温傾向にある現在、気候変動やそれによってもたらされる水資源の変動等に対する関心が益々高まっている。この問題に対して幾つかの大気大循環モデルは気温の上昇、降水量や土壌水分の変化等の将来予測に有用とみられている。しかし、これらモデルに含まれる地表の水文過程のモデル化は未だ不十分である。また、全球を計算しているため、地表の分解能は低緯度地域において約4~25万km²であり、地域の水資源、植生と結び付いたより高い計算密度であることが望まれる。そこで、本研究は広域にわたるアジアモンスーン地域を対象として、降水、積雪・融雪、蒸発散、河川流出等の水文過程を的確にモデル化し、「広域環境条件が広域の水収支に及ぼす影響」及び「モンスーンの変動特に、降水量変動が広域環境条件に与える影響」を50~500km²の計算密度で詳しく評価できる広域の水収支モデルを開発することを目的としている。

2. 研究方法

本研究で開発する広域水収支モデルは広域の地表をメッシュ分割し、降水量、気温等から任意の地域の河川流量、水の流域貯留量（土壌水分量、地下水量など）、実蒸発散量等を計算するモデルであり、流域を単位とした既存の水収支モデル特に、タンクモデルを応用してモデルの開発を行う。この広域水収支モデルは図1に示すようにタンクモデルを基本とした流出量サブモデル、蒸発散量サブモデル、積雪・融雪サブモデル、降水量サブモデルの4つのサブモデルから構成し、最も基本的な部分である流出量サブモデルからモデルの開発・検証実験を順次行う。この場合、数少ない地表観測データの他に衛星データから得られる地表状態（植生指数、アルベド、温度など）

も有用な情報となるので積極的に衛星データの有効利用も考慮してモデルの開発を行う。本年度はアジア大陸を対象とした広域水収支モデルの開発に着手するため、広域のDTMデータの作成し、また、蒸発散量サブモデルの開発にも着手するため、衛星データを用いた月平均気温の推定を行った。

3. 研究成果

(1) DTMの作成

アジアモンスーン地域を対象とした広域水収支モデルの内の流出量サブモデルを作成するためには、衛星データから得られる地形及び植生状態の情報と地形図を利用した流域分類と河川網の選定が必要である。そのためアジア大陸全体のDTMデータを作成し、3次元の広域衛星画像表示を行った。DTMデータはWorld Data Bank IIの5分メッシュ標高データを線形内挿する方法により作成した。DTMの範囲はNOAA/AVHRRのGACデータから作成した広域衛星画像データと重ね合わせ表示できるように東経30度から東経160度、北緯60度から南緯20度とし、空間分解能も2分とした。

(2) 蒸発皿蒸発量の推定

現時点での広域水収支モデルでは入力データとして広域の蒸発皿蒸発量データが必要であるが、これらデータは特定の地域でしか観測されていない。そこで可能であるならば衛星データから推定することが望ましい。蒸発皿蒸発量はソンスウェイト法やペンマン法等により推定できることが知られており、ここでは比較的データ入手が容易な月平均気温データのみから推定できるソンスウェイト法を検討した。検討は熱帯域に位置するタイのチャオプラヤ川の中・上流流域のChiang Mai（北緯18度47分）、Phitsanulok（北緯16度50分）及びNakhon Sawan（北緯15度48分）において行った。図2にソンスウェイト法による推定式とChiang Mai及びNakhon Sawanにおける1971年から1983年の計算結果を示す。この図からも分かるように蒸発皿蒸発量とソンスウェイト法による計算結果は量的には少し異なるが位相は一致している。このことから蒸発皿蒸発量はソンスウェイト法により推定可能と思われる。ただし、更に推定誤差を小さくするためには植生・湿潤度・風速の気候値を考慮した地域特有の係数が必要なものと思われる。

(3) 衛星データを用いた月平均気温の推定

前項(2)で述べたように月平均気温は月蒸発量の推定に必要なデータであり、ここではNOAA AVHRRのGACデータを用いた月平均気温の推定を行った。AVHRRデータを用いた地表温度の推定は多くの場合Split Window法が用いられているが、月平均気温を推定する場合にはSplit Window法と太陽放射の季節変化を組み合わせた回帰式による推定法の方が年間を通じてより良い推定結果が得られる。そこで、この手法を用いてアジア大陸各地の36箇所の気象観測地点において、1989年1月から1991年9月にかけて、月平均気温、GACデータのSplit Windowチャンネルデータ及び太陽放射の季節変化係数を用いて各地域における回帰式を求めた。その結果、多くの地点で重相関係数0.9以上、推定誤差の分散 2.0°C 以下の良い結果が得られた。図3は新しく提案した回帰式とKashi、Lhasa及びBangaloreにおける推定結果を示したものであ

り、K a s h i はタクラマカン砂漠の西側の乾燥地域、L h a s a は標高3600mの高原盆地、B a n g a l o r e は熱帯域にそれぞれ位置している。この図からも年間を通じて良い推定結果が得られていることが分かる。

(4) 代表流域における広域水収支モデルの検証及び改良

アジアモンスーン地域は様々な気候と地形が存在する地域であることから、この地域に適用する広域水収支モデルは様々な流域において検証及び改良が行われる必要がある。そこで、幾つかの代表流域を選定して広域水収支モデルの検証及び改良を行うこととした。初めに、日本の大淀川流域（流域面積2千km²）及び中国の淮河流域（25万km²）を選定しモデルの検証及び改良に着手した。両流域はほぼ同緯度地域に位置し、流域面積が相互に100倍異なる自然流域である。本年度は中国の研究者と共同して大淀川の流域調査を行うと共に、図4に示す流域内各地の降水量、河川流量、ダムの流入量及び流出量等のデータを収集した。

4. 考 察

タイのチャオプラヤ川中・上流流域における広域水収支モデルの検証と改良を終え、本年度から日本の大淀川流域及び中国の淮河流域におけるモデルの検証と改良に着手した。大淀川流域については日中共同で流域調査を行い、解析に必要な降水量、河川流量及びダムの流入・流出量データを収集した。蒸発量データについては次年度収集・整理する予定である。淮河流域についても共同研究の実施取極が日中間で締結されたのを機に中国側研究者によりデータ収集・整理が行われている。また、それと並行してアジア大陸全体の水収支モデルの作成にも着手し、アジア大陸全体のDTMデータを作成した。これにより任意の地域の衛星画像の3次元表示が可能となった。これらを利用した実モデルの作成は次年度以降行う予定である。広域水収支モデルに必要な蒸発量については広域データの入手が容易な衛星データから推定するのが最も適していると考えられ、衛星データから平均気温を推定し、この平均気温から蒸発量を求める手法を開発することとした。現在、Split Window法と太陽放射の季節変化を組み合わせた新しい回帰式により、特定地点においてNOAA AVHRRのGACデータから月平均気温を推定することが可能となった。この研究を更に発展させ、回帰式の係数の合理的な推定手法を開発することにより任意の地域における月平均気温を推定する手法を確立する予定である。しかる後、ソンスウェイト法を基本とした月蒸発量の推定手法を確立し、更に日単位の蒸発量についても検討する予定である。

5. 引用文献: C.W. Thornthwaite: "An Approach Toward a Rational Classification of Climate", Geographical Review, Vol.38, pp.55-94, 1948.

6. 成果の発表

- (1) 中根・幾志: NOAA AVHRRのGACデータを用いたアジア地域の月平均気温の推定、第18回リモートセンシングシンポジウム資料、1992.
- (2) K. Nakane and S. Kishi: Numerical study on regional water balance model in Asia, アジアモンスーン国際会議、1992.
- (3) 中根・幾志: NOAA AVHRRのGACデータを用いたアジア各地の月平均気温の推定、日本リモートセンシング学会誌、Vol.13, No.1, pp.14-26, 1993.

7. 関係国との協力

中国水利部遥感技術応用中心の研究者2名を当研究所に招聘し、日本側の代表流域である大淀川流域において日中共同で流域調査を行い、解析に必要な降水量、河川流量及びダムの流入・流出量データを収集した。

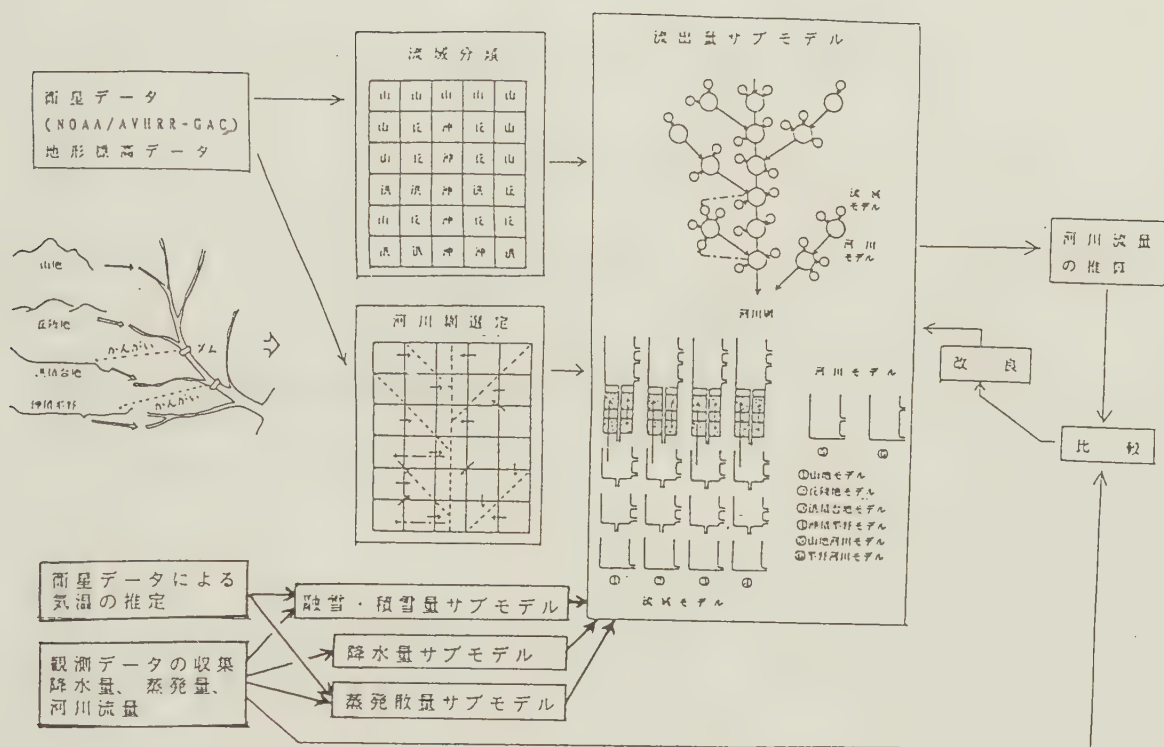


図 1 広域水収支モデルの概観

Fig.1 Outline of Regional Water Balance Model.

$$E_p = 0.533 \cdot D_0 \cdot (10 \cdot T_i / J)^{-a}$$

$$J = \sum_{i=1}^{12} (T_i / 5)^{-1.514}$$

$$a = (0.678 \cdot J^{-3} - 77.1 \cdot J^{-2} + 17,920 \cdot J + 492,390) \cdot 10^{-6}$$

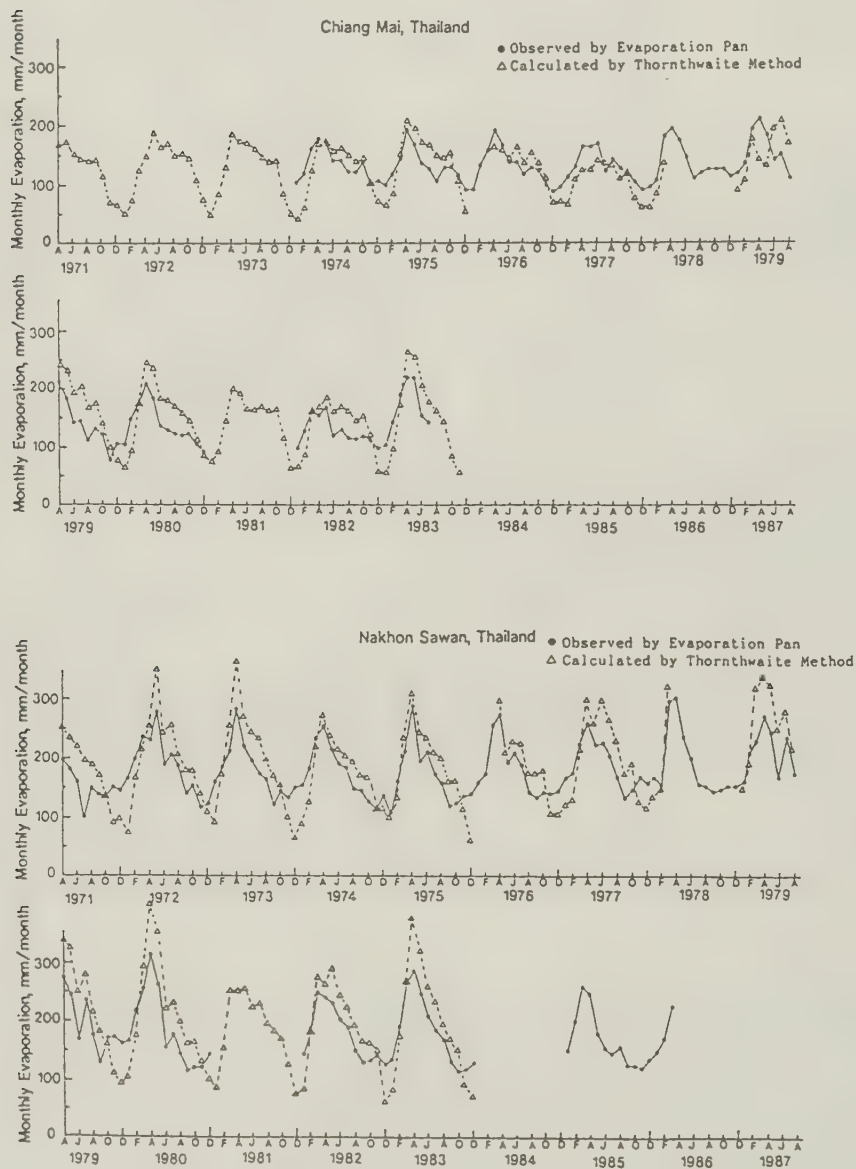
$$d = 0.4093 \cdot \sin(0.01698 \cdot (dn - 80))$$

$$tr = -1 \cdot (0.0148 / \cos(\theta) / \cos(d) + \tan(\theta) \cdot \tan(d))$$

$$D_0 = 2 \cdot \arccos(tr) / 3.14159$$

where, E_p (mm/day) is the potential evapotranspiration of the monthly mean, D_0 (12hour/day) is the number of daylight hours, T_i is the monthly mean air temperature, dn is Julian days, and θ is the latitude of the target point.

(a) 月蒸発量の推定に用いたソンスウェイトの式



(b) 月蒸発量の推定結果

図2 ソンスウェイト法による月蒸発量の推定

Fig.2 Estimation of monthly evaporation using Thornthwaite Method.

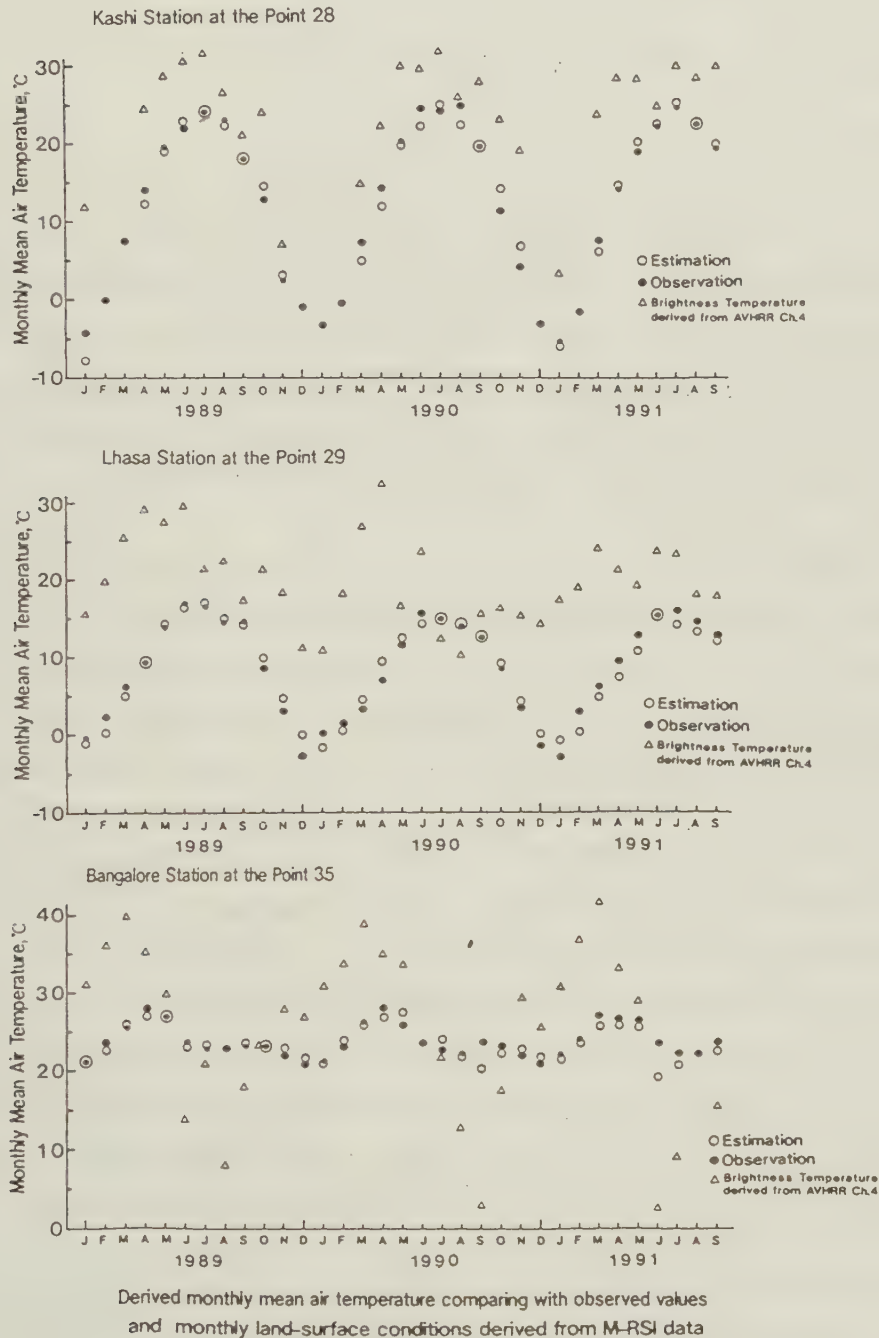
$$T_{ma} = K_1 \cdot SR + K_2 \cdot T_4 + K_3 \cdot T_{45} + K_0 \quad \text{-----(1)}$$

$$SR = \cos(\theta - \delta) \quad \text{-----(2)}$$

$$\delta = 0.4093 \cdot \sin(0.01698 \cdot (DN - 80)) \quad \text{-----(3)}$$

Where, T_{ma} is the monthly mean air temperature and SR is a seasonal coefficient of extra-terrestrial solar radiation at the target point. T_4 is a brightness temperature of band 4 and T_{45} are the brightness temperatures difference derived from band 4 and band 5 on NOAA AVHRR respectively. K_1 , K_2 , K_3 and K_0 are regression coefficients. θ and δ are a latitude at the target point and a declination of sun respectively. DN is the number of days from zero day of January to the representative day of the month.

(a) 月平均気温の推定に用いた回帰式



(b) 月平均気温の推定結果

図3 NOAA AVHRRのGACデータを用いた月平均気温の推定
Fig.3 Estimation of monthly mean air temperature derived from NOAA AVHRR GAC data.

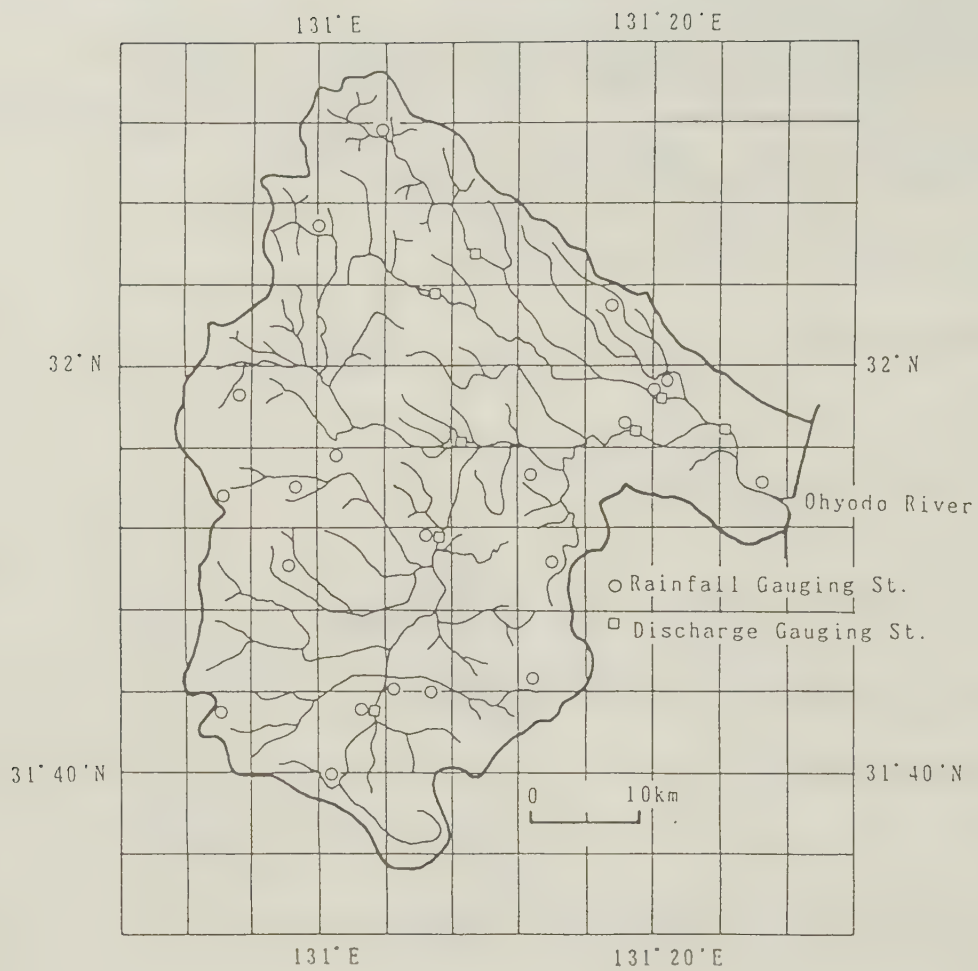


図 4 大淀川流域の概略

Fig.4 Outline of Ohoyodo river.

2. 数値モデルによる実験研究

Theoretical/Experimental Study by Numerical Simulations

(2) 季節内変動とアジアモンスーンの関連に関する実験的研究

Numerical Study concerning Relationships between the Intraseasonal Oscillations in the Tropics and the Asian Monsoon Phenomena

気象庁気象研究所

二階堂義信、木田 秀次

Meteorological Research Institute,

Japan Meteorological Agency

Y. Nikaidou and H. Kida

(Abstract) The purpose of this study is to understand the mechanism of the Asian summer monsoon and its relationship with the intraseasonal oscillations in the tropics by numerical simulations of global models. We have two research subjects in the first half period of this project. The one is reproduction of the Asian summer monsoon and the 30-60 days oscillations in the tropics by high resolution global models. The other is numerical studies about basic mechanisms of the general circulation in the subtropics including the monsoon circulation and the subtropical highs by using a simplified low resolution model.

As for the latter subjects, we analyzed circulations around the subtropical highs simulated with some land-ocean distributions from the viewpoint of Ertel's potential vorticity budget. The Ertel's potential vorticity is the physical quantity which is perfectly conserved within a material element in adiabatic flow. Although it isn't conserved within a material element with diabatic heating and external forcing, its volume integral between two isentropic surfaces is still conserved with being drifted by the flow. It can be interpreted in other words that the potential vorticity is filtered out by the isentropic surface through which the material flow with diabatic heating and external force can pass. This characteristics of the potential vorticity is referred as to "impermeability principle". McIntyre and Norton (1990) formulated a flux conservation law of the Ertel's potential vorticity with diabatic heating and external forcing. We calculated the potential vorticity flux on some isentropic surfaces in the lower troposphere based on the McIntyre and Norton's formula as for AQUA RUN and EQO RUN. In the former run of an aqua planet condition, the potential vorticity flux was well conserved except for a small residual at the middle latitude, which seems to correspond to drag force on the westerly wind. Because, we neglected the contribution of external forcing on the potential vorticity flux in the calculations. In the latter run with land-ocean contrast of zonal wave number 2, the potential vorticity flux was conserved around the subtropical highs much better than the former in spite of the fact that the wind blew across large potential vorticity gradient. From closer inspection of some isentropic surfaces, we found the following process of the potential vorticity circulation. Low potential vorticity in warm air on the land is condensed over cold sea on the east side of the land by upward motion of the air. The condensed high potential vorticity is stored in the subtropical high, and then is blown to the low latitude with being diluted by large scale subsidence in the subtropics.

As for the numerical study by using the high resolution model, we performed a numerical integration of the model in which the cumulus parameterization is replaced with convective adjustment based on Manabe et al. (1965). The convective adjustment isn't directly affected by large-scale convergence, and its diabatic heating profile has the maximum at lower height than that of the original cumulus parameterization (Kuo scheme). This modification of the cumulus parameterization made differences in the intraseasonal oscillations as well as in the summer monsoon circulation.

1. 研究目的

夏のアジアモンスーンは年々の変化が大きいばかりでなく、インドモンスーンのオンセット・ブレイクに見られるように、季節の中にも大きな変動が見られる。この変動に対して熱帯の30～60日周期変動との関連が観測から示唆されているが、両者を結び付けるメカニズムに関しては未だ明らかではない。アジアモンスーンが南アジアの社会に及ぼす影響が大きいにもかかわらず未解明な部分が多いのは、現象の発生する地域の大半がインド洋や西部熱帯太平洋上にあり、観測データの取得がはなはだ困難なためである。

本研究では、全球の数値予報モデルを用いてアジアモンスーンの数値シミュレーションを行ない、夏のアジアモンスーンと熱帯の季節内変動の相互関係を、数値実験的手法によって解明していくことを目的とする。

2. 研究方法

低分解能（最大波数21、水平分解能約550km、鉛直12層）で海陸分布を単純化させた全球モデルによる実験では、亜熱帯高気圧をめぐる循環の維持機構を調べるため、McIntyre and Norton (1990)によって提唱された非断熱加熱と外力が存在する場での等温位面上のErtelの渦位総量 (potential vorticity substance) 保存法則に基づき、AQUAラン（極氷以外の全域が海洋の水惑星）とEQOラン（極氷と南北15度以内の低緯度海洋以外は東西波数2の海陸分布）の積分結果を用いていくつかの等温位面上で渦位フラックスを計算しその収支を解析した。

高分解能モデルを用いた（最大波数63、水平分解能約180km、鉛直21層）夏のアジアモンスーンと季節内変動の再現実験では、昨年の研究でモデルの熱帯域の発散場や降水分布の再現性に問題があり、その主な原因として積雲対流パラメタリゼーションが考えられるという結論を得ていた。今年度はモデルで採用されている、対流圏下部の大規模収束に敏感なKuo方式とは大きく仮定を異にする、Manabe et al. (1965) の対流調節法に基づいた積雲対流パラメタリゼーションをモデルに組み込み、その影響を調べた。

3. 研究成果

(1) 海陸分布を単純化した低分解能モデルによる実験

Ertelの渦位 (potential vorticity) は非断熱加熱と外力の働かない場においてLagrange的に完全に保存され、物質要素に固着した物理量として気象学では非断熱運動・準非断熱運動の解析に有用な量である。しかし、非断熱加熱や外力の効果が無視できなくなると保存が成り立たず、熱帯・亜熱帯域や長期間の大気の流れの解析には有効でない。しかし、McIntyre and Norton (1990) により非断熱加熱と外力の働く場においても "impermeability principle" という概念を導入することによって、Ertelの渦位の保存形式化が出来ることを示した。具体的には、QをErtelの渦位、 θ を温位、fをコリオリパラメータ、 ζ を相対渦度、pを気圧とすると。

$$Q = -g(f + \zeta) \frac{\partial \theta}{\partial p} \qquad \cdots \cdots \cdots (1)$$

密度を ρ とすると、非断熱加熱・外力の働く場での渦位総量 (potential vorticity substance) の保存式は温位座標系で

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho Q) + \vec{\nabla}_h \cdot \vec{J} = 0 \qquad \cdots \cdots \cdots (2)$$

と表現される。Jは渦位流束ベクトル、 ∇_h は等温位面上での2次元勾配。渦位流束ベクトルは温位座標系で

$$\vec{J} = \sigma Q \vec{u} - H \vec{\zeta}^{\text{a//}} \frac{\sigma}{\rho} - \vec{F} \times \vec{e}_\theta \quad \cdots \cdots \cdots (3)$$

と表される。ここで σ は大気の安定度

$$\sigma \equiv -1/g \frac{\partial \theta}{\partial p} \quad \cdots \cdots \cdots (4)$$

u は等温位面上の風ベクトル、 H は非断熱加熱率、 $\vec{\zeta}^{\text{a//}}$ は絶対渦度ベクトルの等温位面に平行な成分。 F は外力ベクトル、 e_θ は等温位面に垂直なベクトル。また、具体的に渦位流束ベクトルの各成分は

$$J_x \equiv \sigma Q u + H \frac{\partial v}{\partial \theta} - F_y \quad \cdots \cdots \cdots (5)$$

$$J_y \equiv \sigma Q v - H \frac{\partial u}{\partial \theta} + F_x \quad \cdots \cdots \cdots (6)$$

と表現できる。

今回解析したのは、AQUAラン（水惑星）とEQOラン（熱帯海洋と東西波数2の海陸分布）の積分151日目から180日目までの30日間で、その期間で平均した850hPaの平均高度をそれぞれ図1a, 1bに示す。図2a, 2bはそれぞれ同じ期間で平均したAQUAランとEQOランの310Kの等温位面における30日平均渦位（Ertelの）分布・気圧分布である。図中の矢印は等温位面上の風ベクトルを表している。これらの図からAQUAランとEQOランの亜熱帯高気圧及びその周辺の循環の違いが渦位の平均的な分布にも反映していることがわかる。AQUAランでは渦位は緯度方向に様な分布をしていて風は等渦位線に沿って吹いているのに対して、EQOランでは亜熱帯高気圧内とその北西側にあたる大陸東岸沖に渦位の極大域があって風は渦位傾度を横切って吹いている。もっとも、AQUAランでも瞬間的な状態で見れば傾圧不安定波に伴う渦位の波動が見られる（図3）。

これら2つのモデルの積分結果から(5), (6)式により渦位流束ベクトルを求めたが、その際外力項の効果は無視した。図4a, 4bにそれぞれAQUAランとEQOランの30日間で平均した東経92.5度から177.5度の区間（EQOランでは海洋上にあたり亜熱帯高気圧が存在する経度帯）での渦位流束発散とその残差項の緯度分布を示す。ここで、渦位流束発散の東西成分（細線）、南北成分（太実線）はそれぞれ東西85度、南北2.5度の区間での渦位流束の東西壁、南北壁での流出量（単位は m^2s^{-2} ）を表す。30日間の平均値を扱っているので(2)式より

$$\vec{\nabla}_h \cdot \vec{J} \equiv 0 \quad \cdots \cdots \cdots (7)$$

の近似式が成り立ち、これより残差項（太破線）を求めた。図4aのAQUAランでは渦位流束発散の東西、南北成分は赤道の特異点を除き概ね打ち消し合っているが、北緯40度付近に残差項がやや残っている。この付近で西風が最も強いことと(6)式から判断して、残差項は偏西風帯の摩擦応力によるものと考えられる。図4bのEQOランでは北緯40度を中心とした緯度帯に渦位流束の南北成分による発散域とその北と南側に収束域が見られる。これは亜熱帯高気圧の循環に伴うものであるが、渦位流束の東西成分によって殆ど完全に打ち消されて外力に関係した残差項は非常に小さい。渦位流束を構成する要素として式(5), (6)の右辺第一項の移流による成分と第二項の非断熱加熱による成分があるが、EQOランの場合熱帯域を除き非断熱加熱による成分は無視できるほど小さかった。図2bでわかるように、北緯40度の亜熱帯高気圧中央部からやや低緯度よりでは高気圧の東側の北風によって渦位フラックスの発散が生じているが、この発散は高気圧の北東部から吹き込む西風による渦位の収束で補償されている。EQOランで大きな渦位傾度を横切る流れがありながら渦位分布が維持できているのかを明らかにするため渦位分布の鉛直構造を調べた。図5はEQOランの315K, 310K, 305Kの等温位面上の30日平均した渦位と風速の分布を表している。これらの図から、亜熱帯高気圧北西側の高渦位域は上層ほど値が小さくなっていること、亜熱帯高気圧南縁では逆に下層ほど値が小さくなっている特徴が見られる。図6はこの様な渦位の鉛直構造を渦位保存法則の立場で解釈した模式図である。中緯度の大陸東岸では大陸上で暖められた気塊が冷たい海洋上に流れ出て冷やされる。冷却は下層ほど強いので、東岸沖の海上の対流圏中層に上昇流が発生し下層収束・上層発散となる。等温位面の渦位に対する効果により、下層では周囲から集められた気塊が濾過され、物質だけが上空に運ばれ、渦位は下層で濃縮されて高渦位域を形成する。上空では下層から上昇してきた物質により逆に渦位が希釈されている。一方、亜熱帯高気圧の

南辺では高緯度側から流れ出してくる高渦位の気塊を亜熱帯上空からの下降流が希釈し渦位の値を小さくして渦位の傾度を維持している。

(2) 全球高分解能モデルによる夏のアジアモンスーン・季節内変動の再現実験

前年度の実験で全球高分解能モデルT63L21が夏のアジアモンスーンや梅雨などの季節現象をかなり忠実に再現しており海面水温偏差の影響もある程度評価できるものの、熱帯・亜熱帯域の降水分布や風の発散場など非断熱加熱に関係した要素に系統的な誤差が見られることが明らかになった。従って今年度は熱帯・亜熱帯域での非断熱加熱の最も重要な要素である積雲対流パラメタリゼーションを変更してそれがモデルの気候状態及び季節内変動に与える影響を調べることにした。

従来よりモデルに採用されている積雲対流パラメタリゼーションは Kuo (1974) の方式によるもので、条件付き不安定な気柱内での大規模場の収束と地表面からの蒸発により増加した水蒸気があるパラメータで水蒸気混合比の増加と降水に分配し、降水に伴う非断熱加熱の鉛直プロファイルは積雲内外の気温差で与えるものである。この方式は積雲の非断熱加熱・降水が大規模場の収束・発散によって制御されるため、CISK（第二種条件付き不安定）のシミュレーションには好都合で、熱帯域の対流活動域がよく発生するし季節内変動も比較的明瞭である。しかし、モデルの鉛直層は大気下層で σ 面に近く（ハイブリッド σ 座標）、水平面の表現もスペクトル方式を用いているためにチベット高原などの山岳地帯で偽の水蒸気収束が計算されて山岳上での過剰な降水・非断熱加熱により夏のアジアモンスーンが歪められたものとなっている。

今回比較のためにモデルに導入された対流調節法は、Manabe et al. (1965) の方式に基づいたもので、飽和に近い湿度を持つ湿潤不安定な層の上下で対流調節を行ない、水蒸気の再配分、降水、成層の中立化をはかるものである。具体的には気温を T 、geopotential height を ϕ 、混合比を q 、大気の定圧比熱を c_p 、水蒸気の凝結熱を L とすると大気上下層の湿潤静的エネルギー h は

$$h_l = c_p T_l + \phi_l + L q_l, \quad h_u = c_p T_u + \phi_u + L q_u$$

で表される。ここで、添字 l, u はそれぞれ二層の下、上の層に関する量を示す。いま、

$$h_l > h_u$$

ならば二層間は条件付き不安定にある。更に、下層の相対湿度が r_c より大きいとき二層間で対流調節を行ない

$$\begin{aligned} h &= c_p (T_l + \Delta T_l) + \phi_l + r_c L q^* (T_l + \Delta T_l) \\ &= c_p (T_u + \Delta T_u) + \phi_u + r_c L q^* (T_u + \Delta T_u) \end{aligned}$$

というように上下層の気温をそれぞれ ΔT_l 、 ΔT_u だけ変化させ、相対湿度をそれぞれ r_c に変化させると同時に余剰な水蒸気は降水とする。ここで、 q^* は飽和混合比を表している。二層間の対流調節による変化によって新たに他の層との間で対流調節が必要な条件になった場合は再び対流調節を行ない、対流調節の条件がなくなるまで調節を繰り返す。このように対流調節法は論理が簡単であるが、必ずしも大気上下間にわたる積雲対流を物理的に表しているとはいいがたく、 r_c というパラメータが未定になっている。今回の実験では r_c を 0.90 とし（条件付き不安定層の下層の相対湿度が 90% 以上で対流発生）、対流調節は第 5 層（約 900hPa）から第 17 層（約 100hPa）の間で行なった。

図 7 は積雲対流パラメタリゼーションを対流調節法に変更したモデルで 3 月 31 日 12Z から積分を開始したときの 5 月の月平均降水量分布を表している。従来の方式のモデルと比べて極端に降水分布が変わることはないものの、従来のモデルで過剰に降水のある山岳地帯（チベット高原、海洋大陸、アンデス山脈、エチオピア高地）の降水が減少し、逆に赤道インド洋で降水が増加している。非断熱加熱は従来の Kuo 方式と比べてやや高度の低い所に最大値がある。対流調節法では Kuo 方式の様に大規模場を直接感じることはなく、周辺との相互作用も対流調節によって変えられた大気が移流によって周辺に流されることに初めて起こりうるので、熱帯の対流活動域の動きも組織だったものではなかった。

4. 考 察

(1) 海陸分布を単純化した低分解能モデルによる実験

今回の渦位収支解析により、渦位という保存量を通して見た中緯度・亜熱帯の大気大循環の様相と循環維持機構が明らかになった。渦位の観点から見ても、亜熱帯高気圧にとって大陸東岸沖の冷たい海洋の存在が循環の維持と亜熱帯高気圧の形状決定に重要な役割を果たしていることがわかった。渦位は大気の複雑な

3次元運動を2次元化させ解釈を容易にするのに有効な手段である。しかし、どのようにして中・高緯度の海陸の温度差が亜熱帯高気圧の循環を維持するための運動エネルギーに変換されているのかなどについては明確なイメージが得にくい。次年度では、これらの疑問点についてエネルギー収支、エネルギー変換の観点から解析する。

(2) 全球高分解能モデルによる夏のアジアモンスーン・季節内変動の再現実験

対流調節法はアルゴリズムが簡単で、大規模場の収束に過剰に反応せず、モデルで採用されているKuo方式のようにモデルを高分解能化させたときにCISKが起こり過ぎることがないという利点はあるものの、基本的には不安定な上下二層間の調節の集積であるため非断熱加熱の中心が低くなり過ぎることや、一挙に対流圏の下層から上層に及ぶ熱帯の積乱雲内の対流と周辺の補償流による場の変化を表しておらず、対流をコントロールする自由度も少ない点で熱帯の気候再現に好ましいと言えない。Arakawa-Shubert法は積雲のエントレインメントや補償流、積雲群内での準定常状態などの仮定がなされており、雲物理を意識したものとなっているが、計算が複雑で高分解能のスペクトルモデルには不向きである。近年では、対流調節法に雲物理の要素や準定常状態の仮定を組み込んだ積雲対流パラメタリゼーション、Arakawa-Shubert法の仮定の一部の制限条件を緩めて計算を効率化したもの、downdraftを含めて積雲内のplumeの運動を計算する積雲対流パラメタリゼーションも発表されているので、次年度ではこれら雲物理を意識した積雲対流パラメタリゼーションの中からいくつかを選んで高分解能モデルに組み込み積分を行なってみる。

5. 引用文献

Kuo, J. L., 1974: Futher studies of the parameterization of the influence of cumulus convection on large-scale flow. *J. Atmos. Sci.*, **31**, 1232-1240.

Manabe, S., J. Smagorinsky and R. F. Strickler, 1965: Simulated climatology of a general circulation model with a hydrologic cycle. *Mon. Wea. Rev.*, **93**, 769-798.

McIntyre, M. E. and W. A. Norton, 1990: Dissipative wave-mean interactions and the transport of vorticity or potential vorticity. *J. Fluid Mech.*, **212**, 403-435.

6. 成果の発表

(1) 口頭発表

発表者名	発表題名	発表誌名等	備考
二階堂義信	夏半球の亜熱帯高気圧研究（その4） ー亜熱帯高気圧を巡る大気大循環の渦位収支についてー	日本気象学会 1992年秋季大会	

7. 関係国との協力

平成5年3月12～13日に中華人民共和国北京市で開催された「アジアモンスーン機構に関する研究」第1回合同作業部会に出席し、中国国家気象局気象科学院の陳隆勲教授と双方のアジアモンスーンに関する数値モデル研究についての現状紹介と今後の研究協力について会談し、今後研究面で観測データ、数値実験結果の交換、中国側研究者の招聘、日本側研究者の派遣計画について協定を結んだ。

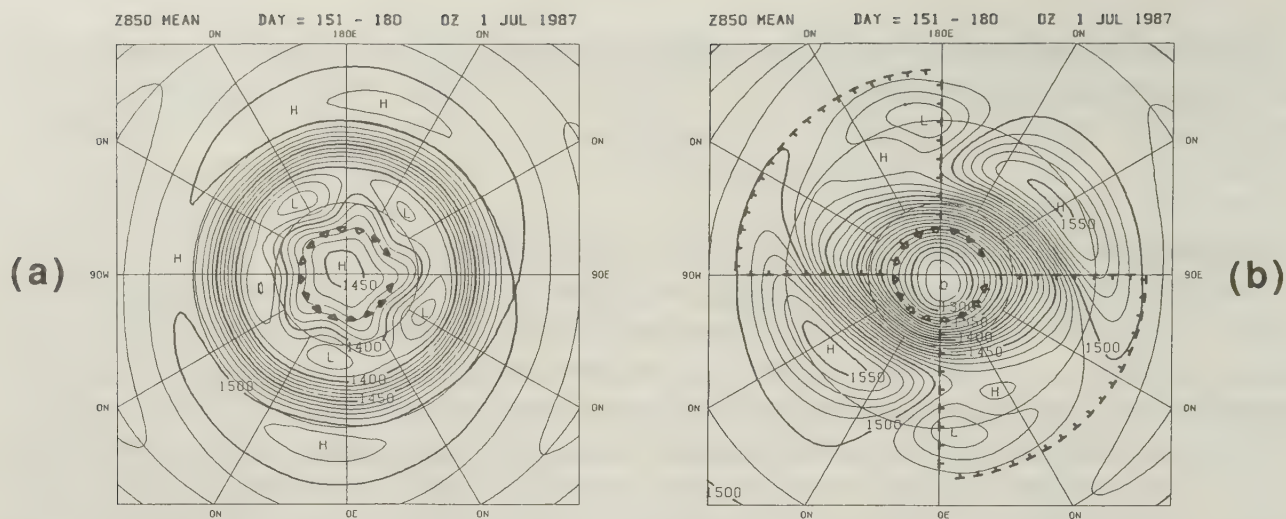


図1. 海陸分布を単純化した低分解能モデルの積分151日目から180日目の30日間平均850hPa高度。(a) AQUAラン、(b) EQOラン。等値線の間隔は10m。「凸」印及び「▲」印で囲まれた領域はそれぞれ陸地と極氷を表す。

Figure 1. 30-day mean 850hPa geopotential heights of the low resolution global model with simplified land-ocean distribution. (a) AQUA run, (b) EQO run. The averaged period is form the 151-st day to the 180-th day of the integration. Regions enclosed with symbols "凸" and "▲" indicate the land and the polar ice, respectively.

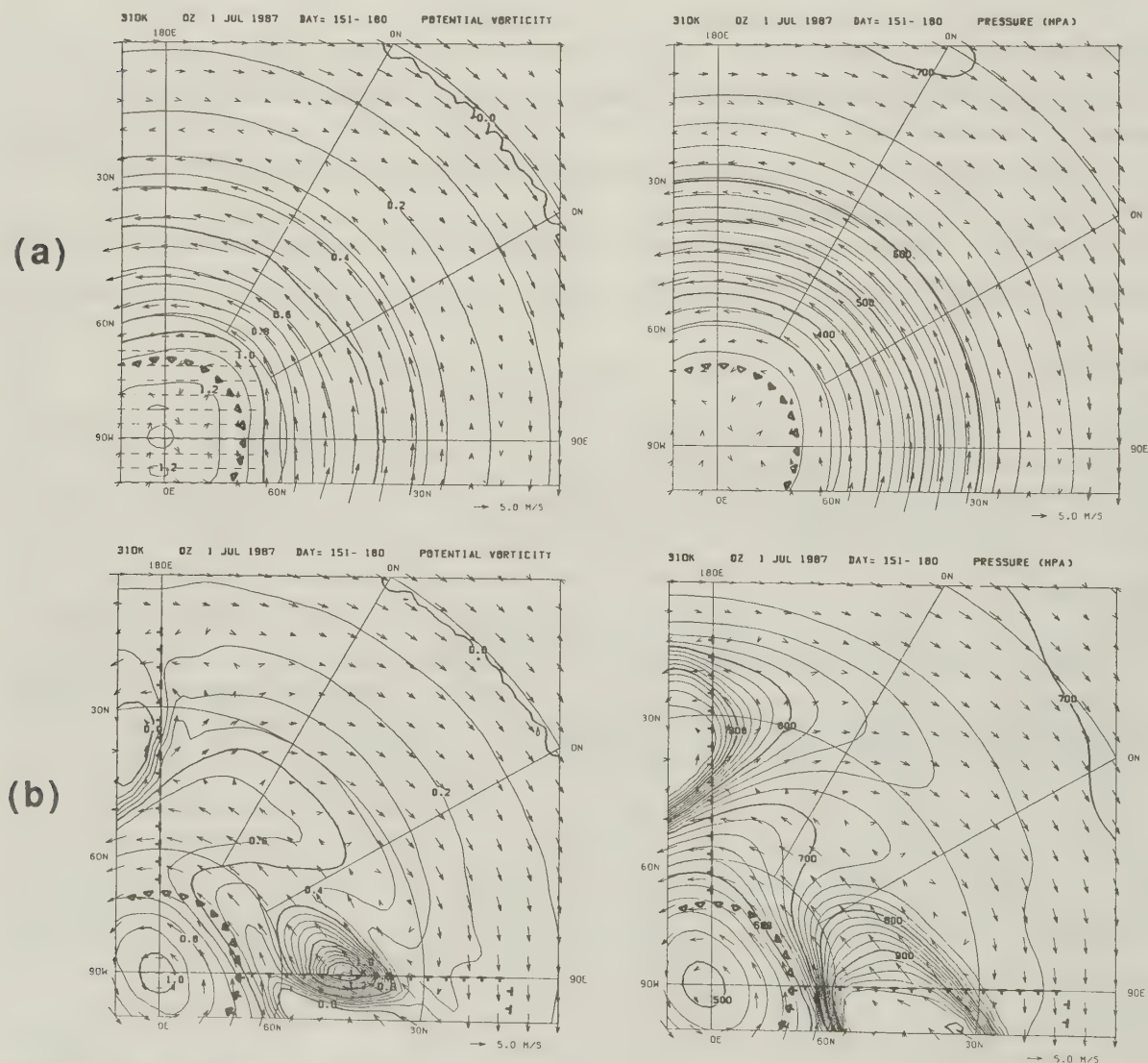


図2. 310Kの等温面上の30日平均Ertelの渦位分布と30日平均気圧。(a) AQUAラン、(b) EQOラン。平均した期間は図1と同じ。等値線の間隔は渦位が $10^7 \text{m}^2 \text{Kkg}^{-1} \text{s}^{-1}$ 、気圧が20hPa。渦位の $10^6 \text{m}^2 \text{Kkg}^{-1} \text{s}^{-1}$ の部分には影が施されている。図中の矢印は等温面上の風ベクトルを表す。

Figure 2. 30-day mean Ertel's potential vorticity and pressure on an isentropic surface at 310K. (a) AQUA run, (b) EQO run. The averaged period is the same as Fig. 1. The contour interval of potential vorticity is $10^7 \text{m}^2 \text{Kkg}^{-1} \text{s}^{-1}$, and that of pressure is 20hPa. An area where the potential vorticity is larger than $10^6 \text{m}^2 \text{Kkg}^{-1} \text{s}^{-1}$ is shaded. Arrows show wind vectors on the isentropic surface.

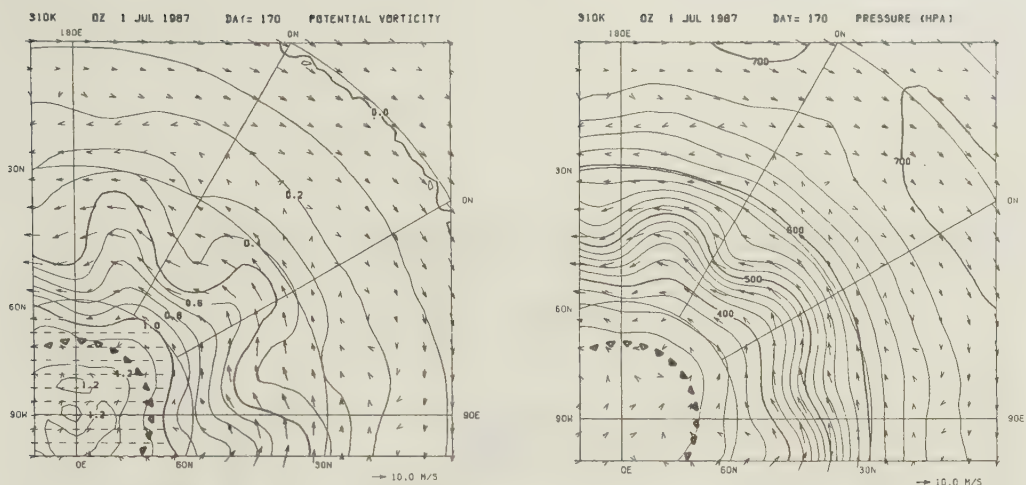


図3. EQOランの積分170日目における310Kの等温位面上の渦位と気圧。その他は図2と同じ。
Figure 3. The same figures as Figure 2 except for potential vorticity and pressure on the 170-th day of EQO run.

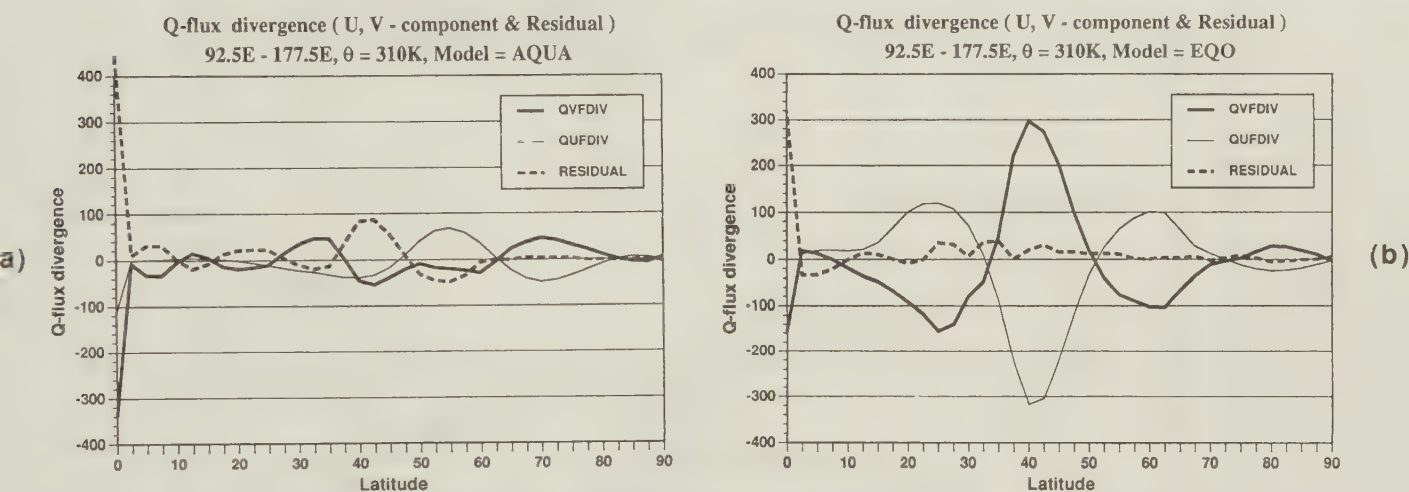


図4. 東経92.5度から177.5度の経度帯での30日平均渦位流束発散の東西成分（細線）、南北成分（太実線）、残差項（太破線）。(a) AQUAラン、(b) EQOラン。等温位面は310K。平均した期間は図1と同じ。横軸は緯度、縦軸は東西85度、南北2.5度の区間での渦位流束の東西壁、南北壁での流出量と残差を表し、単位は m^2s^{-2} 。
Figure 4. The east-west component (thin line), the north-south component (thick solid line) and the residual (thick dashed line) of 30-day mean potential vorticity flux divergence within a longitudinal belt from 92.5E to 177.5E. (a) AQUA run, (b) EQO run. The isentropic surface is at 310K. The averaged period is the same as Fig. 1. The abscissa shows the latitude. The ordinate does outflows of the potential vorticity flux from the east-west boundary and on the north-south boundary of areas divided every 2.5 degree of the latitude within the longitudinal belt and its residual. The unit of the ordinate is m^2s^{-2} .

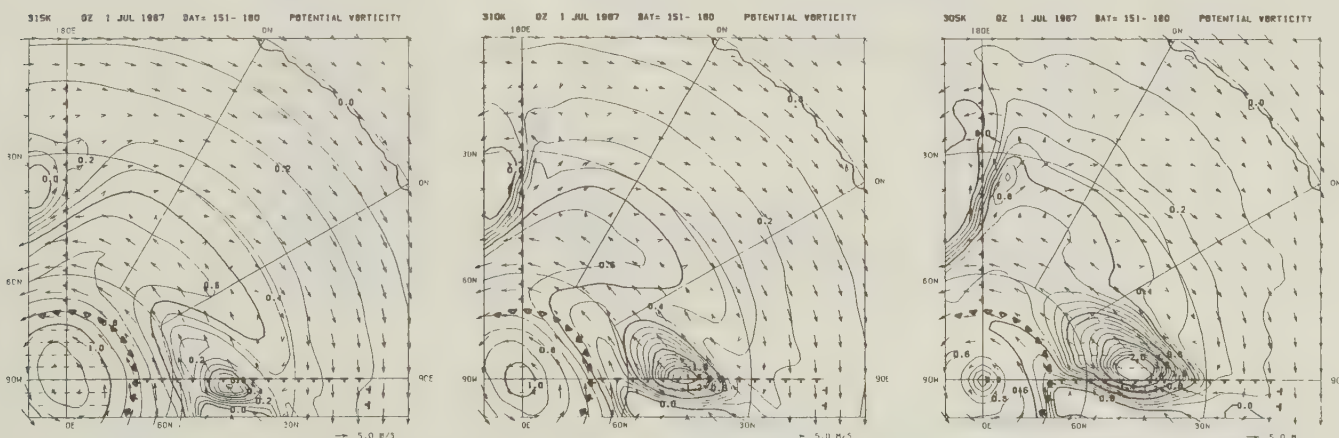


図5. EQOランの315K（左）、310K（中央）、305K（右）の等温位面での30日平均Ertelの渦位分布と風ベクトル。平均した期間や等値線の間隔は図2と同じ。
Figure 5. 30-day mean Ertel's potential vorticity and wind vectors of EQO run on isentropic surfaces at 315K (left), 310K (center) and 305K (right). The contour interval is the same as Fig. 2.

East Coast of a Continent in the Middle Latitudes

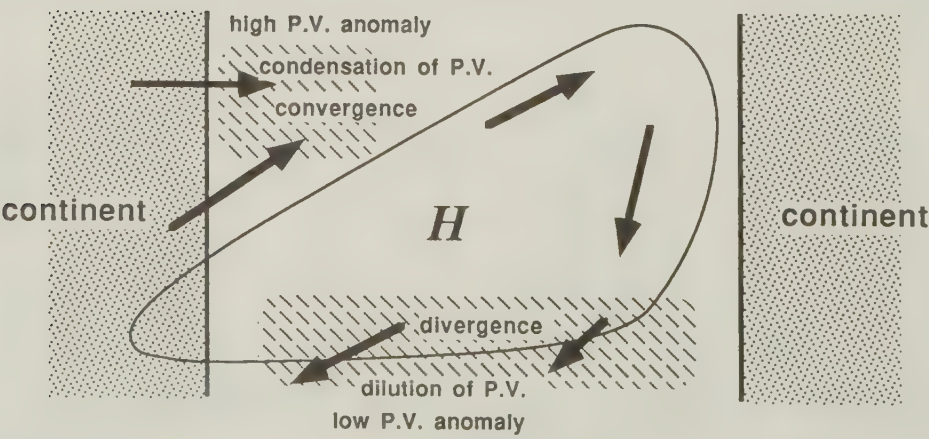
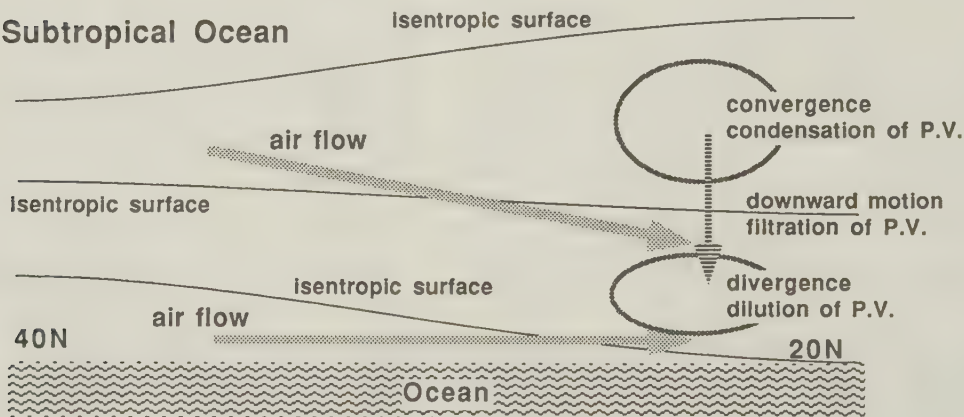
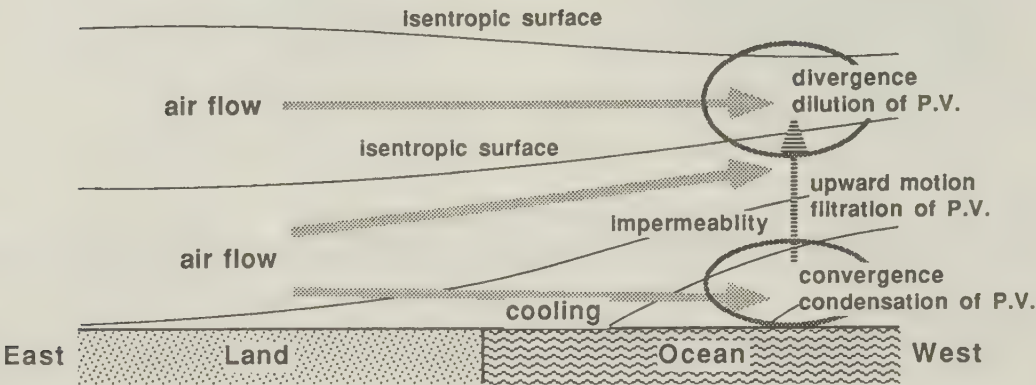


図 6 . EQOランの亜熱帯高気圧を巡る渦位循環の模式図。
 Figure 6 . A schematic diagrams explaining circulation of potential vorticity around the subtropical high in EQO run.

Monthly Mean Precipitation (May 88)

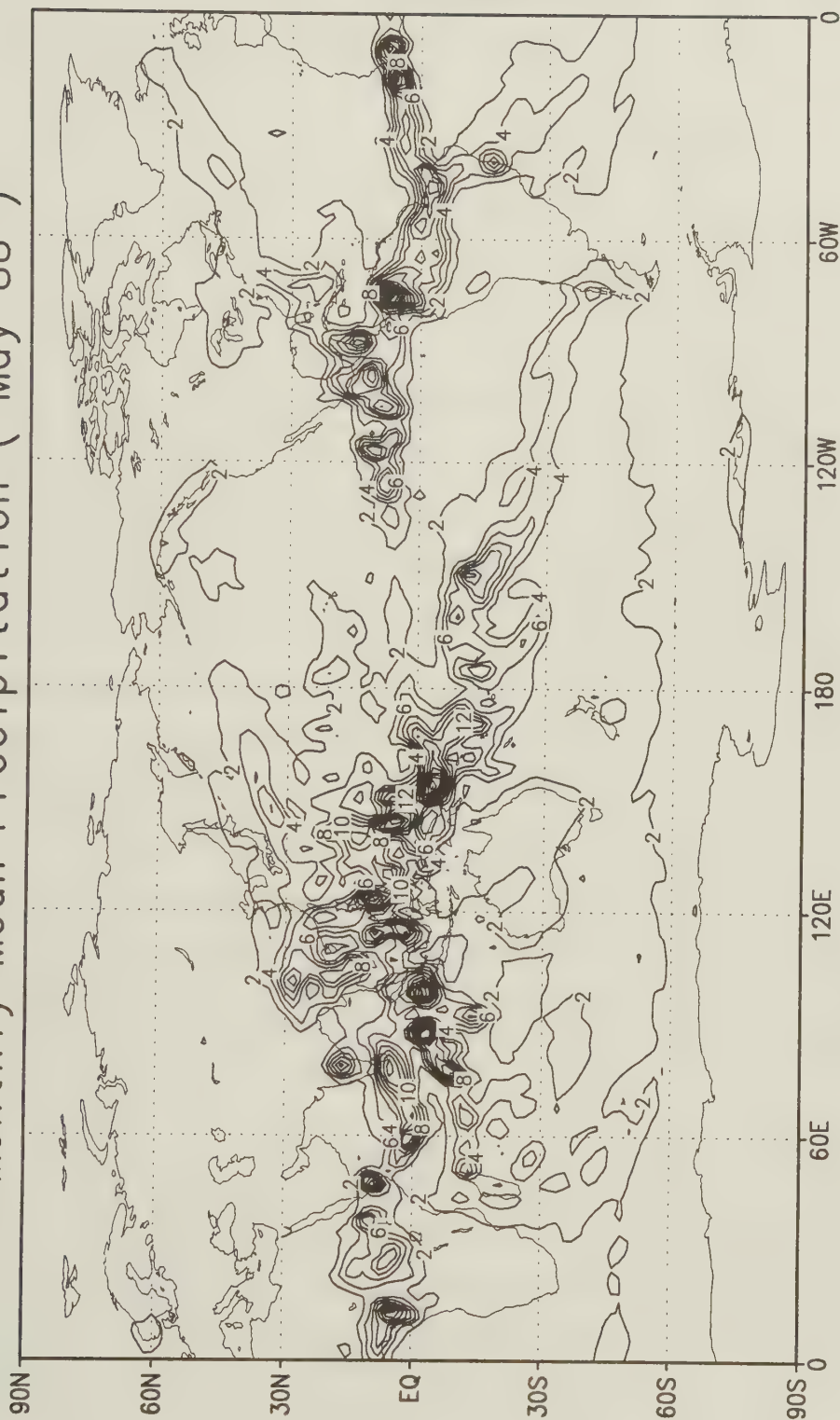


図 7. 対流調節方式を用いた高分解能モデルの 5 月の月平均日降水量分布。モデルの初期値は 3 月 31 日 12Z。等値線の
間隔は 2mm/day。

Figure 7. Daily precipitation in May predicted by the high resolution model with convective adjustment. The initial time of
the integration is 12Z March 31. The contour interval is 2mm/day.

2. 数値モデルによる実験研究

Theoretical/Experimental Study by Numerical Simulations

(3) 大規模モデルによる大気・海洋・陸面間の相互作用に関する実験的研究

Numerical Study on Air-Sea-Land Interactions in a Monsoon by GCM

気象庁気象研究所

鬼頭 昭雄

Meteorological Research Institute,

Japan Meteorological Agency

A. Kitoh

(Abstract) The purposes of the present study are to clarify the mechanism of air-sea-land interactions in an Asian monsoon region including the Pacific and the Indian Oceans and the Eurasian continent by performing a series of numerical experiments. For these purposes we use an atmospheric general circulation model (GCM) which includes interactive land surface processes (in the first phase of the program) and an ocean-atmosphere coupled GCM (in the second phase).

In this year, interannual variations of rainfall in the semi-arid regions across the Atlantic (Sahel in North Africa and Nordeste in Northeastern Brazil) are investigated with the MRI GCM. The model has been integrated for a 20-year period using the observed sea surface temperature (SST) for the period 1970-1989.

The Sahel is a semi-arid zone located between the Sahara desert and the tropical rainforest. Here, the Sahel is defined as the region 15°W – 20°E , 12°N – 20°N . Figure 1a,b shows the precipitation and moisture flux in July–September season, when the Sahel rainfall becomes maximum. The ITCZ is located at 10°N over the continent. Therefore, the Sahel is a zone of large meridional rainfall gradient and also is a boundary between westerly moisture flux which comes from the tropical Atlantic and easterly moisture flux which is a part of a high pressure system in north Africa.

Figure 1c shows the July–September composite anomalies of moisture flux and SST concerning the Sahel precipitation. There is an anomalous cyclonic circulation over the northern tropical Atlantic, transporting moisture from the ocean to land. The moisture flux from the Sahara desert to the Sahel also changes. The position of the ITCZ does not change probably due to a coarse horizontal resolution of the model. Instead, the northward extent of the ITCZ is responsible to the interannual Sahel rainfall variability in the model. The above-normal SST off north Africa is significantly correlated with the Sahel rainfall through circulation changes.

The Nordeste is a semi-arid region in northeastern Brazil. Figure 2a,b shows the precipitation and moisture flux for February–March. There is a heavy rainfall from Amazon to eastern Brazil. This region and another heavy rainfall region over the equatorial Africa is connected by the ITCZ over the Atlantic. This is the season when the model Nordeste (45°W–35°W, 12°S–4°S) receives largest precipitation. Mean precipitation in the 20-year simulation is balanced by local evaporation (60%) and by northeasterly moisture flux convergence (40%) from the Atlantic Ocean.

About 90% of variance of interannual rainfall variability in the Nordeste is explained by that in moisture flux convergence. Figure 2c shows the composite anomalies of precipitation, moisture flux and SST for the Nordeste precipitation in February–March. There are westerly moisture flux anomalies over the region. Therefore, lower tropospheric easterlies are weak over Brazil. A region of moisture flux convergence by easterlies from the Atlantic is shifted eastward when the Nordeste rainfall is large. A larger cross-equatorial northerly moisture flux component also contributes to the Nordeste rainfall variability. This is associated with SST anomalies in the Atlantic. The tropical South Atlantic is covered by positive SST anomalies larger than 0.5°C. The SST anomalies in 10°S–0°S is significantly correlated with the simulated Nordeste rainfall, corresponding to the observed analyses.

1. 研究目的

アジアモンスーンは日本を始めとしたアジア諸国の気候形成に重要な寄与をしており、またその年々変動は、アジアモンスーン地域が地球規模の熱源の最大のものであることから、当該地域のみならず世界的規模の変動と関連する。さらに積雪等の陸面諸過程やインド洋・西部熱帯太平洋の海洋との相互作用の解明が必要である。そのために本研究では大気・海洋・陸面間の相互作用を表現しうる大規模モデルを用いてアジアモンスーンの維持・変動の機構について研究する。

2. 研究方法

前期5年間では、アジアモンスーンの維持・長周期変動に対する大気の内部変動や海面水温(SST)・陸面状態の変化の役割を明らかにするために、気候値及び年々変化する海面水温を与えて大気大循環モデルを長期間積分し、境界条件としての海面水温の評価を行う。実測の海面水温を与えるランにおいては1969年9月から1990年2月までの20.5年間の40°Sから60°Nの各年各月の月平均海面水温を日別値に内挿して境界条件とする。後期の5年間においては大気海洋結合モデルを導入し、アジアモンスーンの維持及びその変動に対するインド洋や熱

帯太平洋等の海洋との相互作用、チベット高原を含むユーラシア大陸上の積雪等の陸面諸過程と大気・海洋の相互作用の機構の解明を目指す。

3. 研究成果

大西洋を挟んだ半乾燥地帯である西アフリカ（サヘル）とブラジル北東部（ノルデステ）での降水量変動、特に干魃は大きな問題であり、その実態把握・予測のための研究が行なわれている。本年度は1970-1989年の20年間のSSTを境界条件として与えたGCM実験結果を中心に、その年々変動の機構について調べる。

サヘル (15°W - 20°E , 12°N - 20°N) はモンスーンの多雨域とサハラ砂漠の間に位置し降水量の南北傾度の大きい地帯である(図1a)。大陸上へ北上してくる ITCZ による7-9月の降水のピークがモデルでシミュレートされている。モデルの20年平均降水量の80%がその場の蒸発量でまかなわれており、残りの20%が周囲からの水蒸気収束による(図1b)。

しかし降水量の年々変動については蒸発量と水蒸気収束がほぼ同じ値であり、平均値と比べて相対的に水蒸気輸送量の変動の寄与が大きくなる。図1cは7-9月のサヘル降水量が多い3年と少ない3年の水蒸気フラックスとSSTの偏差合成図である。北アフリカ西岸沖の大西洋SSTが高く、 20°N , 30°W 付近に中心を持つ海面気圧偏差に伴う水蒸気フラックスによるITCZの強化と、 10°N に極大を持つITCZがサハラ砂漠からの南向き成分の弱まりにより北側へ拡がることから、モデルのサヘルの降水量の年々変動に関与している。

南アメリカの夏季にはアマゾン奥地を中心に降水量が多いが、ブラジル北東部は半乾燥地域となっている。モデルではアマゾン奥地からブラジル東部にかけての多雨域が北上する2-3月に、ノルデステ (45°W - 35°W , 12°S - 4°S) の降水のピークがある(図2a)。モデル気候値の2-3月降水量は蒸発量と大西洋からの水蒸気収束がほぼ6:4と拮抗している。

図2cは年々変動成分のコンポジットである。モデルのノルデステの降水量の年々変動はほとんど(90%)が水蒸気フラックスの変動からなる。図の東向き水蒸気フラックス偏差から明らかなように、大西洋からの水蒸気がアマゾン奥地まで達することなく、いわば早く収束することが、沿岸部の半乾燥地域の降水量変動を規定している。ITCZは海上で強く、アマゾン奥地や熱帯アフリカで平年より弱い傾向がある。また熱帯大西洋SSTとの有意な正相関が顕著であり、これはHastenrathらの解析と一致している。

このほかにモデルの水平解像度を倍にした実験を行なったが、それだけではモデルで再現されるモンスーン循環はかえって弱くなり、モデル気候値を改善できないことが分かった。

4. 考察

これまでの海面水温変動に応答する大気の年々変動を調べてきたが、そこでは年々変動のないいわゆる気候値の海面水温を与えた場合でも、陸面においては土壌水分・積雪をモデルで予報していることによる大気―陸面相互作用が含まれていた。この陸面過程の年々変動とモンスーン循環の変動を分離して調べる必要がある。又夏季モンスーンについては、地形に対応した降水量分布の再現には現在のモデルでは水平分解能が粗すぎるようであり、高分解能モデルを導入するなどモデルの改良を計る必要がある。ただし単純に分解能を上げるだけでは改良につながらないことも分かった。サブグリッドスケールの海陸分布の効果を含んだパラメタリゼーションを導入する等の工夫が必要と思われる。

5. 引用文献

なし

6. 成果の発表

①学協会誌における発表

1)国内誌

発表者名	発表題名	発表誌名	備考
鬼頭昭雄	10年スケールの大気・海洋変動について	「海と空」 68巻4号	

③口頭発表

発表者名	発表題名	発表場所	発表日	備考
鬼頭昭雄	大気・海洋の10年スケールの変動-GCMの結果-	大気海洋相互作用研究会	1992年 4月	
鬼頭昭雄	年々変動する実測海面水温を与えた場合と気候値海面水温を与えた場合の大気モデルの応答の違いについて	日本気象学会	1992年 5月	
鬼頭昭雄	熱帯海面水温と北半球の夏の循環	日本気象学会	1992年 5月	
A.Kitoh	A simulation of interannual variations on summer monsoons	International Symposium on Asian Monsoon	1992年 9月	
鬼頭昭雄	サヘルとノルデステの雨-数値実験から	日本気象学会	1992年 10月	

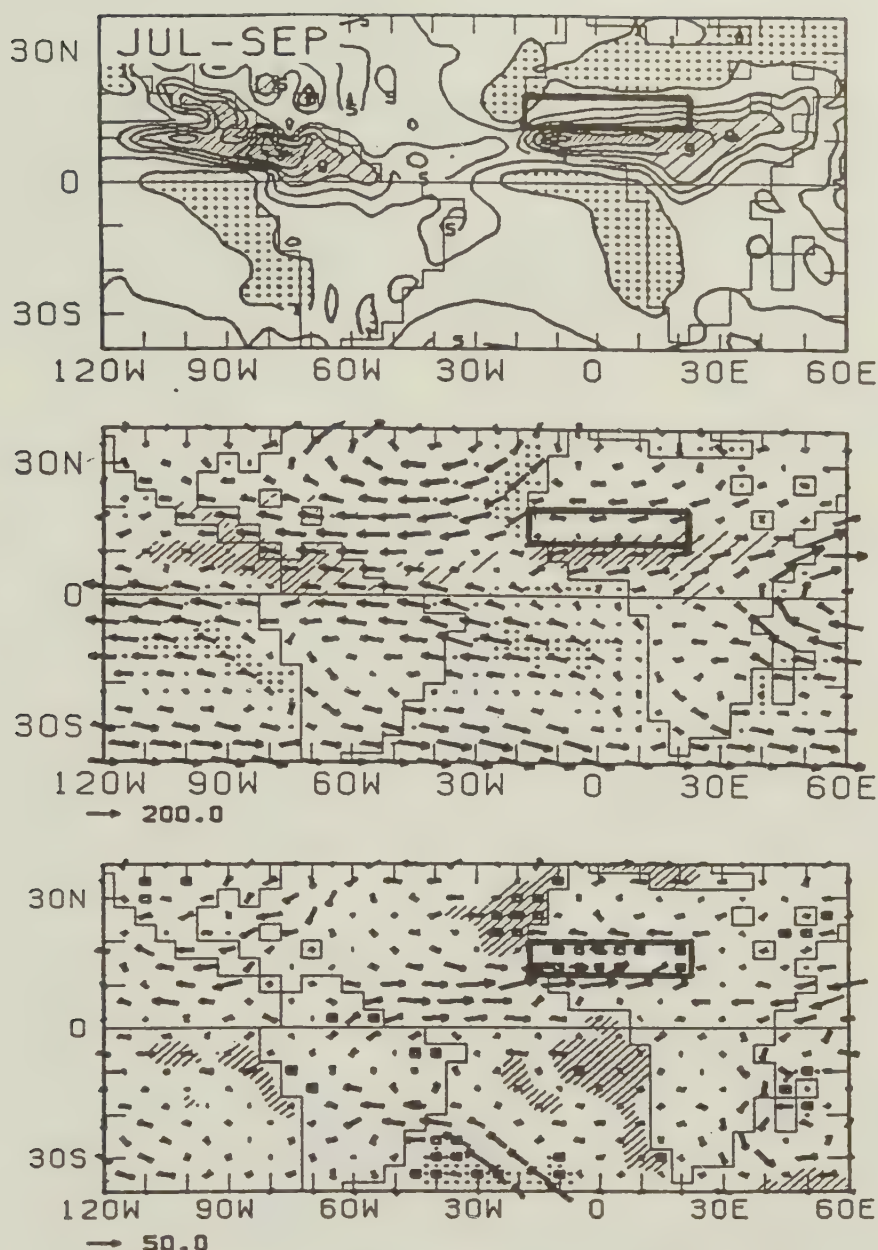


図1 (a) 7-8-9月降水量. (b) 7-8-9月水蒸気フラックス. (c) モデル中のサヘル (15°W-20°E, 12°N-20°N) での7-8-9月降水量が多い3年と少ない3年の差による水蒸気フラックス合成図. 斜線は $SST > 0.5^{\circ}C$, ドットは有意な地点 ($r > 0.47$, $n = 20$).

Fig. 1 (a) Simulated July-September precipitation in the 20-year observed SST run. Contour inter val: 2 mm d^{-1} . Values greater than 7, 9 and 11 are hatched with increasing density and values less than 1 are dotted. (b) Simulated July-September total moisture flux. Reference vector in the lower left corner is $200 \text{ kg m}^{-1} \text{ s}^{-1}$. (c) Composite differences of moisture flux between 3 years with heavy precipitation and 3 years with light precipitation in the Sahel. Reference vector: $50 \text{ kg m}^{-1} \text{ s}^{-1}$. Regions with SST anomaly greater than $0.5^{\circ}C$ are hatched and those less than $-0.5^{\circ}C$ are dotted. Grid points where the simultaneous correlation between the local SST anomalies and the precipitation anomalies in the Sahel is significant at the 95% level are indicated by large dots.

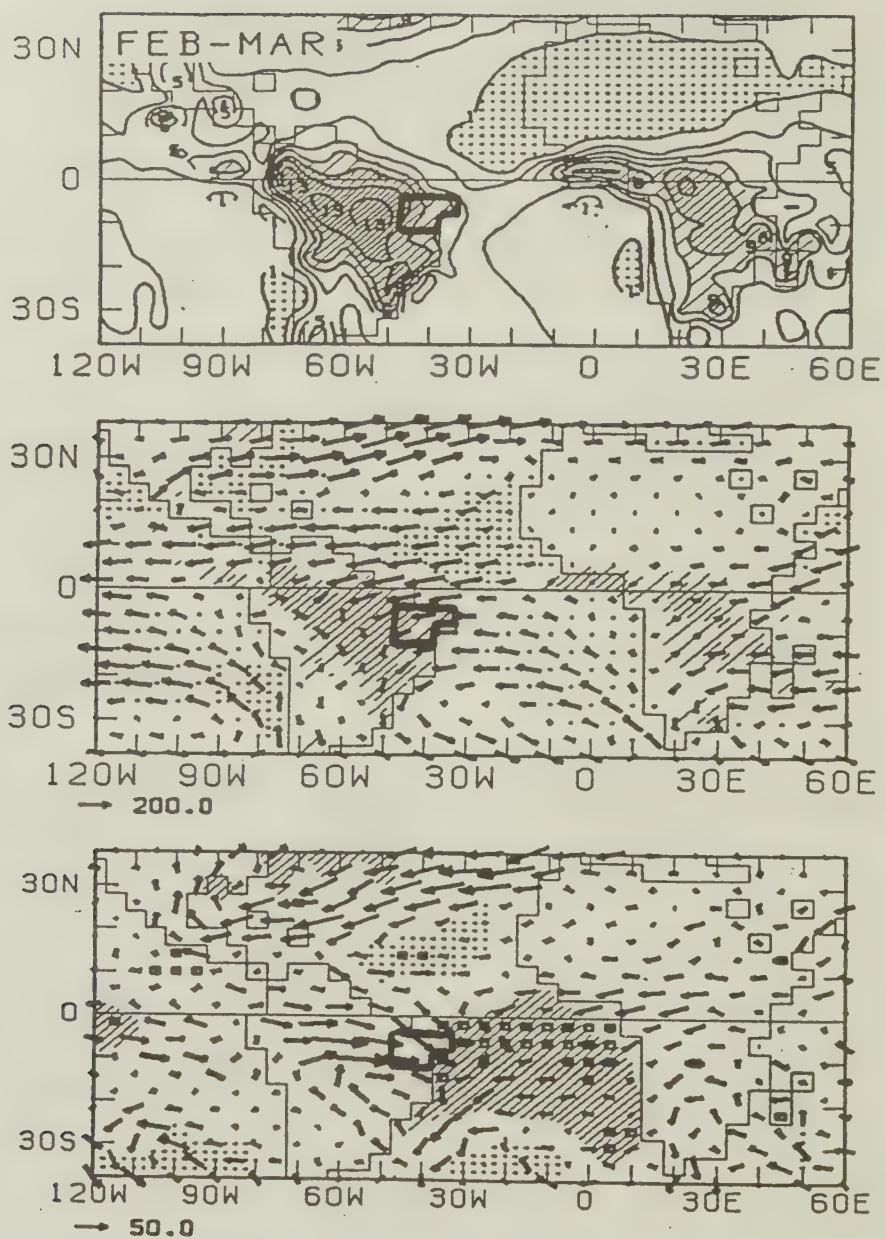


図2 図1に同じ、ただし2-3月の平均値およびノルデステ (45°W-35°W, 12°S-4°S) での2-3月降水量による合成図.

Fig. 2 As in Fig. 1 except for February-March for Nordeste rainfall.

III. 観測・解析研究ディレクトリー

Directory of
Observation/Analysis Data Set

Directory of Observation/Analysis Data Set

1. Directory Entry Title : Temperature/Depth data in the Indian Ocean.
2. Directory Entry Start and Stop Date Start Date : 1989-04-01 Stop Date : 1991-12-31
3. Sensor Name CBT > Compact Bathythermograph, XBT > Expendable Bathythermograph
4. Source Name SOP > Ships of Opportunity
5. Investigator, Technical Contact, and Author (1) Investigator Last name : First name : Email : Phone : Address : (2) Technical Contact Last name : First name : Email : Phone : Address : (3) Author Last name : Mizuno First name : Keisuke Email : none Phone : 0543-34-0715 Address : National Institute of Far Seas Fisheries 5-7-1 Orido, Shimizu, 424 Japan
6. Data Center (1) Data Center Name : JODC > Japan Oceanographic Data Center (2) Dataset ID : (3) Data Center Contact Last name : First name : Email : Phone : 03-3541-3811 Address : Hydrographic Department, Maritime Safety Agency 5-3-1, Tsukiji, Chuo-ku, Tokyo 104
7. Originating Center
8. Campaign or Project

9. Storage Medium
10. Parameter Measured Hydrologic Parameters > Temperature
11. Discipline Keywords Earth Science > Ocean
12. Coverage Minimum Latitude : 30S Maximum Latitude : 10N Minimum Longitude : 40E Maximum Longitude : 120E
13. Location Keywords Indian Ocean > Tropical Indian Ocean
14. General Keywords Asian Monsoon
15. Revision Date 1993-04-01
16. Science Review Date 1993-04-01
17. Future Review Date 1994-04-01
18. References Annual Report of JEXAM (April 1990 - March 1992) , Research and Development Bureau Science and Technology Agency Japan, 176pp, 1991.
19. Summary National Research Institute of Far Seas Fisheries have participated in JEXAM programme, and has deployed observation network of subsurface temperature in the Indian Ocean by voluntary ships using compact-BT and XBT. Maximum depth of measurement depends on a ship but mostly extends up to 400-500m. Each 10m temperature is reported for an individual observation. Location, time, and temperature data are quality controled. The data are to be sent to JODC annually.

1.Directory Entry Title XBT observation between the South China Sea and the Persian Gulf			
2.Directory Entry Start and Stop Date Start Date: 1990-10-07 Stop Date :			
3.Sensor Name XBT>Expendable Bathythermograph			
4.Source Name >Kashimasan Maru			
5.Investigator, Technical Contact, and Author			
(1) Investigator	(Last name)	(First Name)	(Middle Name)
Name	: Ando	Tadashi	
Email	: JMA.OCEAN(OMNET)		
Phone	: +81-3-3212-8341 Ext.5135		
Address	: Oceanographical Division Marine Department, Japan Meteorological Agency 1-3-4, Otemachi, Chiyoda-ku, Tokyo, 100 JAPAN		
(2) Technical Contact			
Name	: Yoshida	Takashi	
Email	:		
Phone	: +81-3-3212-8341 Ext.5129		
Address	: Oceanographical Division Marine Department, Japan Meteorological Agency 1-3-4, Otemachi, Chiyoda-ku, Tokyo, 100 JAPAN		
6.Data Center			
(1) Data Center Name: TOGA Subsurface Data Center			
(2) Dataset ID:			
(3) Data Center Contact			
	(Last name)	(First Name)	(Middle Name)
Name	: Rebert	Jean	Paul
Email	: ORSTOM.BREST		
Phone	: +33-98-22-45-01		
Address	: Centre ORSTOM de Brest B.P.70, 29280 Plouzane FRANCE		
7.Originating Center			
8.Campaign or Project			
Campaign: TOGA>Tropical Oceans and Global Atmosphere			
Campaign: WOCE>World Ocean Circulation Experiment			
9.Storage Medium magnetic disks			

10.Parameter Measured Ocean Dynamics>Temperature
11.Discipline Keywords Earth Science>Ocean
12.Coverage Minimum Latitude : 5N Maximum Latitude : 23N Minimum Longitude: 60E Maximum Longitude: 121E
13.Location Keywords Indian Ocean
14.General Keywords
15.Revision Date
16.Science Review Date
17.Future Review Date
18.References
19.Summary Japan Meterological Agency is operating a voluntary ship for XBT observations at South China Sea, Malacca Strait to Sri Lanka, to the Persian Gulf. The ship, Kashimasan Maru is a crude oil tanker. About 12 transects per year and 4 casts a day are observed.

1.Directory Entry Title XBT observation between the Malacca Strait and the Cape of Good Hope			
2.Directory Entry Start and Stop Date Start Date: 1990-02-25 Stop Date :			
3.Sensor Name XBT>Expendable Bathythermograph			
4.Source Name >Delmas-Tourville			
5.Investigator, Technical Contact, and Author			
(1) Investigator	(Last name)	(First Name)	(Middle Name)
Name	: Ando	Tadashi	
Email	: JMA.OCEAN(OMNET)		
Phone	: +81-3-3212-8341 Ext.5135		
Address	: Oceanographical Division Marine Department, Japan Meteorological Agency 1-3-4, Otemachi, Chiyoda-ku, Tokyo, 100 JAPAN		
Name	: Rebert	Jean	Paul
Email	: ORSTOM.BREST		
Phone	: +33-98-22-45-01		
Address	: Centre ORSTOM de Brest B.P.70, 29280 Plouzane FRANCE		
(2) Technical Contact			
Name	: Yoshida	Takashi	
Email	: JMA.OCEAN(OMNET)		
Phone	: +81-3-3212-8341 Ext.5129		
Address	: Oceanographical Division Marine Department, Japan Meteorological Agency 1-3-4, Otemachi, Chiyoda-ku, Tokyo, 100 JAPAN		
6.Data Center			
(1) Data Center Name: TOGA Subsurface Data Center			
(2) Dataset ID:			
(3) Data Center Contact			
	(Last name)	(First Name)	(Middle Name)
Name	: Rebert	Jean	Paul
Email	: ORSTOM.BREST		
Phone	: +33-98-22-45-01		
Address	: Centre ORSTOM de Brest B.P.70, 29280 Plouzane FRANCE		
7.Originating Center			

8.Campaign or Project Campaign: TOGA>Tropical Oceans and Global Atmosphere Campaign: WOCE>World Ocean Circulation Experiment
9.Storage Medium magnetic disks
10.Parameter Measured Ocean Dynamics>Temperature
11.Discipline Keywords Earth Science>Ocean
12.Coverage Minimum Latitude : 28S Maximum Latitude : 5N Minimum Longitude: 40E Maximum Longitude: 94E
13.Location Keywords Indian Ocean
14.General Keywords
15.Revision Date
16.Science Review Date
17.Future Review Date
18.References
19.Summary Japan Meterological Agency and ORSTOM Brest are operating a voluntary ship for XBT observations cooperatively on TWI Line No. IX6. The ship, Delmas Tourville, is equipped with a XBT launcher and a satellite transmitter by ORSTOM Brest, and JMA provides T-6 XBT probes. About 8 transects per year and 4 casts a day are observed.

1.Directory Entry Title : JEXAM Drifting Buoy Data in tropical Indian Ocean
2.Directory Entry Start and Stop Data Start Date : 1990-02-02 Stop Date :
3.Sensor Name : Surface Drifter with SST Sensor
4.Source Name : ARGOS
5.Investigator, Technical Contact, and Author (1)Investigator Last Name : Yoritaka First Name : Hiroyuki Email : Telemail > [T.MORI/OMNET] Phone : +81-3-3541-3811, Facsimile +81-3-3545-2885 Address : 5-3-1, Tsukiji, Chuo-ku, Tokyo, Japan, 104 (2)Technical Contact Last Name : Yoritaka First Name : Hiroyuki Email : Telemail > [T.MORI/OMNET] Phone : +81-3-3541-3811, Facsimile +81-3-3545-2885 Address : 5-3-1, Tsukiji, Chuo-ku, Tokyo, Japan, 104 (3)Author Last Name : Yoritaka First Name : Hiroyuki Email : Telemail > [T.MORI/OMNET] Phone : +81-3-3541-3811, Facsimile +81-3-3545-2885 Address : 5-3-1, Tsukiji, Chuo-ku, Tokyo, Japan, 104
6.Data Center (1)Data Center Name : JODC >Japan Oceanographic Data Center (2)Dataset ID : (3)Data Center Contact Last Name : Osamu First Name : Yamada Email : Telemail > [T.MORI/OMNET] Phone : +81-3-3541-3811, Facsimile +81-3-3545-2885 Address : 5-3-1, Tsukiji, Chuo-ku, Tokyo, Japan, 104
7.Originating Center
8.Campaign or Project Project : JEXAM >Japanese EXperiment on Asian Monsoon

9.Storage Medium : 1 Magnetic Tape, 2 Mbytes
10.Parameter Measyred : Location Data, SST
11.Dicipline Keywords Earth Science > Tropical Indian Ocean > Oceanic Current
12.Coverage Minimum Latitude : 33 S Maximum Latitude : 6 N Minimum Longitude : 38 E Maximum Longitude : 116 E
13.Location Keywards Indian Ocean > Tropical Region
14.General Keywords : Heat Transport
15.Revision Dates : 1993-05-31
16.Science Review Date
17.Future Review Date
18.References
19.Summary

1. Directory Entry Title :	JEXAM-92 Doppler radar data on convective cloud in cloud clusters
2. Directory Entry Start and Stop Date	Start Date : 1992-05-23 Stop Date : 1992-09-22
3. Sensor Name	3-cm Doppler radar
4. Source Name	3-cm Doppler radar of Meteorological Research Institute, Japan
5. Investigator, Technical Contact, and Author	(1) Investigator Last name : Sakakibara First name : Hitoshi Email : Phone : 0298-51-7111 , Facsimile : 0298-51-1449 Address : M.R.I., 1-1 Nagamine, Tsukuba, Ibaraki 305, Japan (2) Technical Contact Last name : Akaeda First name : Kenji Email : Phone : 0298-51-7111 , Facsimile : 0298-51-1449 Address : M.R.I., 1-1 Nagamine, Tsukuba, Ibaraki 305, Japan (3) Author Last name : Sakakibara First name : Hitoshi Email : Phone : 0298-51-7111 , Facsimile : 0298-51-1449 Address : M.R.I., 1-1 Nagamine, Tsukuba, Ibaraki 305, Japan
6. Data Center	(1) Data Center Name : M R I > Meteorological Research Institute (2) Dataset ID : MIYAK092 (3) Data Center Contact Last Name : Sakakibara First Name : Hitoshi Email : Phone : 0298-51-7111 , Facsimile : 0298-51-1449 Address : M.R.I., 1-1 Nagamine, Tsukuba, Ibaraki 305, Japan
7. Originating Center	M R I
8. Campaign or Project	J E X A M > Japanese Experiment on Asian Monsoon

9. Storage Medium	40 magnetic tapes, 4.0 G Bytes
10. Parameter Measured	Atmospheric Dynamics>Precipitation Atmospheric Dynamics>Winds
11. Discipline Keywords	Earth Science>Atmosphere
12. Coverage	Minimum Latitude : 24 N Maximum Latitude : 25 N Minimum Longitude: 125 E Maximum Longitude: 126 E
13. Location Keywords	Asia > Japan > Okinawa > Miyakojima
14. General Keywords	Typhoon, Baiu front
15. Revision Date	
16. Science Review Date	
17. Future Review Date	
18. References	
19. Summary	This dataset contains reflectivity and Doppler velocity (mean and spectrum width) data of the 3-cm Doppler radar of M.R.I., Japan. The spectrum width data, however, was of low quality. Cloud clusters associated with a typhoon (Typhoon 9219) and the Baiu front were observed at Miyakojima Island during the observation period in 1992. Range of observation was 64km from the radar. This dataset is available only to research institutes which conduct cooperate research with M.R.I. until 1996.

1. Directory Entry Title :	Gridded Brightness Temperature from NOAA-9 AVHRR
2. Directory Entry Start and Stop Date	Start Date : 1986-05-01, 1987-06-01, 1988-06-01 Stop Date : 1988-08-31, 1987-08-31, 1988-08-31
3. Sensor Name	AVHRR > Advanced Very High Resolution Radiometer
4. Source Name	NOAA-9
5. Investigator, Technical Contact, and Author	(1) Investigator Last name : Inoue First name : Toshiro Email : Phone : +81-298-51-7111 Address : M.R.I., 1-1 Nagamine, Tsukuba, Ibaraki 305, Japan (2) Technical Contact Last name : First name : Email : Phone : Address : (3) Author Last name : First name : Email : Phone : Address :
6. Data Center	(1) Data Center Name : M R I > Meteorological Research Institute (2) Dataset ID : (3) Data Center Contact Last Name : First Name : Email : Phone : Address :
7. Originating Center	
8. Campaign or Project	J E X A M > Japanese Experiment on Asian Monsoon

9. Storage Medium	10 MT, 1 G Bytes
10. Parameter Measured	Brightness Temperature of Split Window
11. Discipline Keywords	Earth Science
12. Coverage	Minimum Latitude : 40°S Maximum Latitude : 40°N Minimum Longitude: 40°E Maximum Longitude: 140°E
13. Location Keywords	Indian Ocean, South Asia
14. General Keywords	
15. Revision Date	
16. Science Review Date	
17. Future Review Date	
18. References	
19. Summary	This data set contains brightness temperature of split window data and satellite zenith angle data from AVHRR. These data are available at 0.1° latitude/longitude grid.

1. Directory Entry Title: Daily rainfall in India			
2. Directory Entry Start and Stop Date Start Date: 1985-01-01 1987-12-31 Stop Date :			
3. Sensor Name			
4. Source Name			
5. Investigator, Technical Contact, and Author			
(1) Investigator			
	(Last name)	(First Name)	(Middle Name)
Name	:	Tanaka	Minoru
Email	:		
Phone	:	0298-51-7111 Ext.520	
Address	:	1-1 Nagamine Tsukubashi 305 JAPAN	
(2) Technical Contact			
	(Last name)	(First Name)	(Middle Name)
Name	:		
Email	:		
Phone	:		
Address	:		
(3) Author			
	(Last name)	(First Name)	(Middle Name)
Name	:		
Email	:		
Phone	:		
Address	:		
6. Data Center			
(1) Data Center Name: MRI>Meteorological Research Institute			
(2) Dataset ID:			
(3) Data Center Contact			
	(Last name)	(First Name)	(Middle Name)
Name	:		
Email	:		
Phone	:		
Address	:		
7. Originating Center			
8. Campaign or Project J E X A M>Japanese Experiment on Asian Monsoon			

9.Storage Medium	1 Magnetic tape
10.Parameter Measured	Atmospheric Dynamics>precipitation
11.Discipline Keywords	Earth Science > Atmosphere
12.Coverage	8N Minimum Latitude : Maximum Latitude : 36N Minimum Longitude: 70E Maximum Longitude: 90E
13.Location keywords	Asia
14.General Keywords	Precipitation
15.Revision Date	1992-06-16
16.Science Review Date	1992-06-16
17.Future Review Date	
18.References	
19.Summary	Daily rainfall data for 511 stations in India from 1985 to 1987. Available on the basis of permit by Indian Meteorological Department

全般の問い合わせ先

〒100 東京都千代田区霞ヶ関2-2-1

科学技術庁研究開発局
総合研究課
地球科学技術推進室

Inquiries to:

Office of Earth Science & Technology,
Research and Development Bureau,
Science and Technology Agency,
2-2-1, Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100
Japan

